

**Wirtschaftliche
Auflagergestaltung**

von

**Stahlbetondecken aus
Fertigteilplatten**

mit

**statisch mitwirkender
Ortbetonschicht**

Antragstellung:

Prof. Dr.-Ing. H. Twelmeier †

**Durchführung und
Berichterstattung:**

Prof. Dr.-Ing. K. Kordina

Dr. Ing. V. Henke

[1990]

BIBLIOTHEK
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

Dieses Forschungsvorhaben wurde gefördert aus Zentralmitteln
des niedersächsischen MWK, Az. 21.2.-22.6 (16/86).

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Allgemeines	2
2 Beschreibung der Versuchskörper	4
2.1 Allgemeines	4
2.2 Dimensionierung der Versuchskörper	5
2.2.1 Versuchsserie S1 - Endauflager	5
2.2.2 Versuchsserie S2 - Mittenaufleger Feldbereich	11
2.2.3 Versuchsserie S3 - Mittenaufleger Stützbereich	14
3 Materialfestigkeiten	16
3.1 Beton	16
3.2 Betonstahlfestigkeiten	22
4 Versuchsdurchführung	25
4.1 Allgemeines	25
4.2 Durchbiegungsmessungen	26
4.3 Anordnung der Dehnmeßstelen	27
4.4 Rißbilder	29
5 Versuchsergebnisse	29
5.1 Versuchsserie 1 - Endauflager	29
5.2 Versuchsserie 2 - Mittenaufleger (Feldbereich)	34
5.2.1 Versagensmodus und Bruchmomente	35
5.3 Versuchsserie 3 - Mittenaufleger (Stützbereich)	38
6 Bewertung der alternativen Auflagergestaltungen	40
6.1 Auflagerausbildung V2 - Fertigteilplatte mit glatter Stirnfläche; keine weiteren Bewehrungszulagen	40
6.2 Auflagergestaltung V3 - "Konsollösung"	41
6.3 Auflagergestaltung V4 - "Untere Zulage"	44
7 Beanspruchung der Verbundbewehrung	46
7.1 Beanspruchung der Balken-Verbundbewehrung	46
7.1.1 Versuch Serie S1	46
7.1.2 Versuch Serie S2	47
7.1.3 Versuch Serie S3	47
7.2 Beanspruchung der Platten-Verbundbewehrung	48
7.3 Diskussion der Ergebnisse	49
8 Zusammenfassung	52

Anlagen

1	Anlagen 1 - 12 : Bewehrungszeichnungen der Versuchskörper und Anordnung der DMS
2	Anlage 13 : Fotos des Versuchsaufbaues Serie 1 - 3
3	Anlage 14 : Rißbilder der Versuchskörper
4	Anlage 15 : Diagramme der gemessenen Versuchskörper durchbiegungen und der Betonstahl-Dehnungsmessungen

1 ALLGEMEINES

Massive Stahlbetondecken werden heute, nicht nur im Industriebau, sehr oft als Fertigplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht gemäß DIN 1045, Abschnitt 19.7 ausgeführt. Dabei sind jedoch einige zusätzliche Bestimmungen einzuhalten.

Neben den zusätzlichen Forderungen bezüglich der Abdeckung der Verbundsspannungen, bzw. des Schubspannungsnachweises ist hier die Verankerung der Biegezugbewehrung an den End- und Zwischenauflagern (vgl. DIN 1045, Abschnitt 18.7.3 und 18.7.5) besonders hervorzuheben. Aufgrund dieser Forderungen ragt die in der Fertigteilplatte angeordnete Hauptbewehrung normalerweise aus dieser heraus.

Diese sogenannte "Harfe" bedeutet aber für diese Bauart eine nicht unerhebliche Erschwernis, da sie erstens die Produktion durch die Schwierigkeiten bei der Abschalung behindert und verteuert und zweitens erschwert sie bei Decken mit Stahlbetonunterzügen wegen des mühsamen Einfädelns dieser herausstehenden Bewehrung in die Bügelbewehrung des Balkens die Montage nicht unerheblich, da die Bügelteilung und die Teilung der Längsbewehrung meist nicht aufeinander abgestimmt sind. Auf der Baustelle wird dann durch zeitintensives "Zurechtbiegen" Abhilfe geschaffen, was aber meist mit entsprechenden Vorbeschädigungen und Betonabplatzungen verbunden ist.

Aus diesen Gründen wurden in der letzten Zeit in der Baupraxis in Absprache mit einigen Prüfsingenieuren bereits Alternativlösungen ausgeführt, deren Trag- und Verformungsverhalten allerdings nicht bekannt ist. Außerdem sind diese Alternativlösungen nicht immer vorschriftenkonform, weswegen sie zum Teil von der Bauaufsicht abgelehnt wurden. Daher sollen die im folgenden beschriebenen Versuche mit verschiedenen Varianten die "Standardlösung" unter den

Gesichtspunkten Wirtschaftlichkeit, Gebrauchsfähigkeit und Tragfähigkeit verglichen werden.

Desweiteren ist zu bemerken, daß wegen des unbestrittenen Interesses der Praxis an einer alternativen Lösung, die zur Durchführung der Versuche notwendigen Fertigteile von der Fa. Preussner, Wolfsburg-Fallersleben und der Fa. Lucks & Co., Braunschweig kostenlos zur Verfügung gestellt wurden. Dies kam auch der Intension des Forschungsvorhabens entgegen, da angestrebt werden sollten möglichst unter Praxisbedingungen hergestellte Fertigteile zu verwenden.

Da die Versuche im wesentlichen zur Tragfähigkeitsermittlung der alternativen Auflagergestaltung im Vergleich zur Standardlösung dienen sollten, wurden die durchführenden Messungen der Bewehrungsbeanspruchung auf den unmittelbaren Auflagerbereich der Fertigteilplatten beschränkt. Die Beanspruchungen der Fertigteilplatte sowie des Balkens (Biegezugbewehrung etc.) sind daher nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

2. BESCHREIBUNG DER VERSUCHSKÖRPER

2.1 ALLGEMEINES

Um das gesamte mögliche Beanspruchungsspektrum des Auflagerbereiches abzudecken, sollen im wesentlichen drei Lagerungsfälle unterschieden werden:

- a) Endauflagerbereich (Versuchsserie 1)
- b) Zwischenauflager - Druckbereich (Versuchsserie 2)
(Feldmitte eines Durchlaufträgers)
- c) Zwischenauflager - Zugbereich (Versuchsserie 3)
(Stützbereich eines Durchlaufträgers)

Zu jeder Versuchsserie wurden je vier Probekörper angefertigt, wobei die folgenden Auflageralternativen ausgebildet wurden:

jeweils Serie 1:

- Auflagerausbildung gemäß Zulassung, mit aus der Fertigteilplatte herausstehenden Enden der Biegezugbewehrung; trockene Auflagerung der Fertigteilplatte von 4 cm auf der einen Seite bzw. die Fertigteilplatte endet vor dem Balken und die Verankerung der Biegezugbewehrung erfolgt im nachträglich aufgetragenen Ortbeton des Balkens.

jeweils Serie 2:

- Die Fertigplatte endet mit glatter Stirnfläche und wird 4 bzw. 2 cm trocken auf den Balken aufgelegt. jegliche Zusatzbewehrungen entfallen. Bei der 4 cm tiefen Auflagerung wird der Auflagerbereich auf dem Balken konsolartig bewehrt; bei der 2 cm tiefen Auflagerung erfolgt die Auflagerung nur auf der Betondeckung der Balkenbewehrung.

jeweils Serie 3:

-Die Fertigteilplatte endet mit glatter Stirnfläche vor dem Balken bzw. wird 4 cm trocken aufgelegt. Das Auflager wird als hochgezogenes Auflager ausgebildet ("Konsollösung"); dabei wird die Zugbewehrung der Konsole auf der Fertigteilplatte zugelegt und die zum Gleichgewicht notwendige "Aufhängebewehrung" durch einen im Auflagerbereich quer eingebauten Gitterträger hergestellt.

jeweils Serie 4:

-Die Fertigplatte endet mit glatter Stirnfläche und wird 4 bzw. 2 cm auf dem Stahlbetonbalken aufgelegt. Die erforderliche Zusatzbewehrung zur Verankerung der Biegezugbewehrung wird im Ortbeton auf der Fertigplatte zugelegt. Diese Lösung erfordert geringen Herstellungs- und Montageaufwand; allerdings beinhaltet sie einen nicht DIN-gerechten Bewehrungsstoß, da der Höchstabstand der gestoßenen Bewehrungsstäbe nicht mehr nachträglich überprüft und somit in den seltensten Fällen eingehalten werden kann.

Bei den Versuchsserien mit jeweils 4 und 2 cm Auflagertiefe sollte mit der Wahl der trockenen Auflagertiefe von 2 cm die Auswirkung möglicher Bautoleranzen mit überprüft werden.

Die Abmessungen der Auflagerausbildungen sind den Anlagen 1 - 12 zu entnehmen; siehe auch Bild 5 und 6 auf Seite 28.

2.2 Dimensionierung der Versuchskörper

2.2.1 Versuchsserie 1 - Endauflager

Die wesentlichsten Abmessungen des Versuchskörpers sind auf Bild 1 angegeben. Dabei wird die in dem Drittelspunkten angenommene Linienlast durch eine entsprechende Traversenanordnung mit einer Lastenleitung im Abstand von 40 cm simuliert. Die Randbalken werden zusätzlich durch zwei

Einzellasten im Abstand von 1 m belastet, um in der Verbundfuge Schubspannungen in der Größenordnung von τ_{02} zu erzeugen.

Linienlast aus $F_1 = 10 \text{ kN/Laststufe}$

Einzellasten $F_2 = 5,14 \text{ kN/Laststufe}$
auf Randbalken

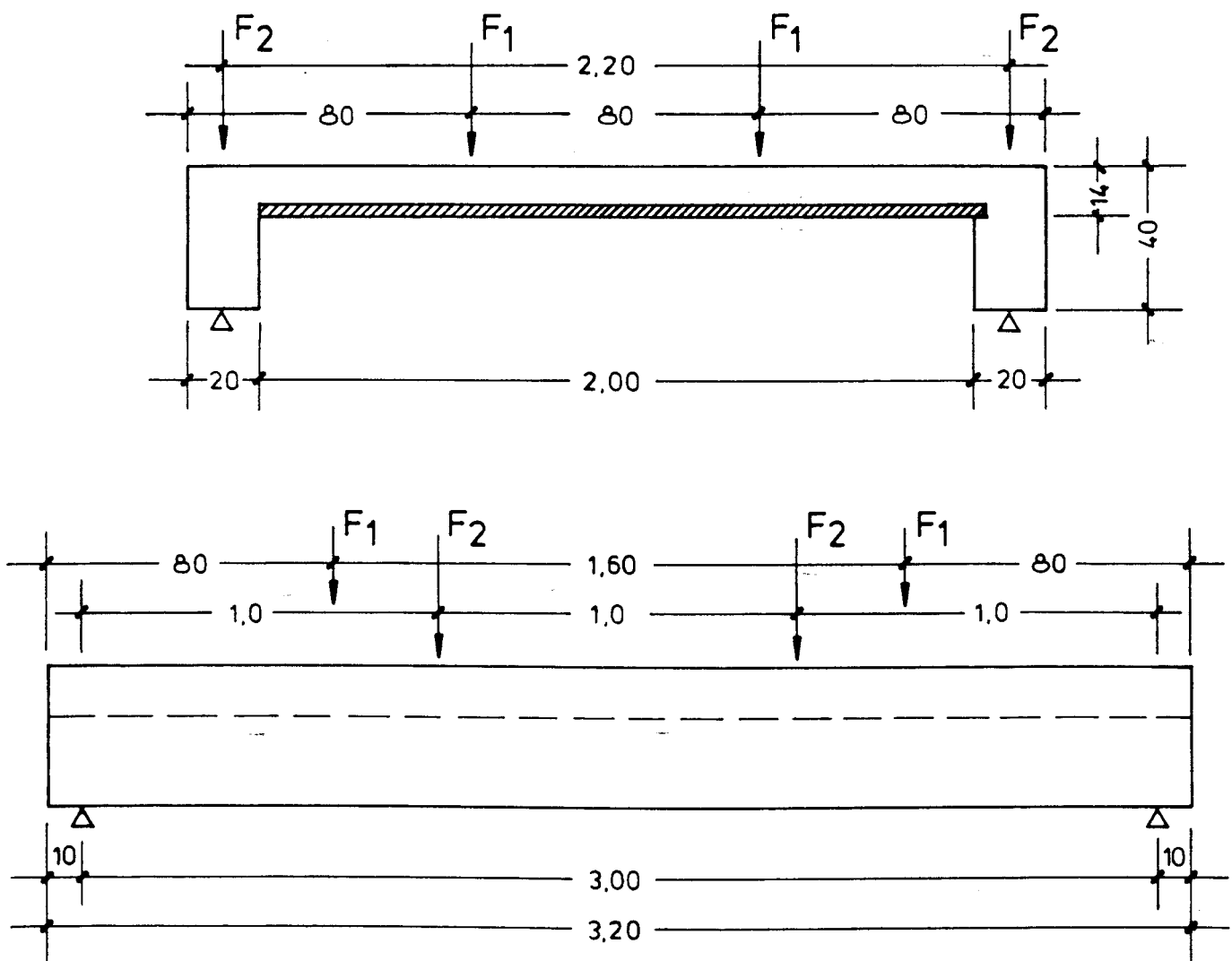


Bild 1: Serie 1 - Hauptabmessungen und Versuchsbelastung

Die Belastung F1 wurde mittels vier kraftgesteuerten hydraulischen Pressen in Laststufen zu je 10 kN/Presse (= Laststufenbezeichnung in den Diagrammen der Versuchsauswertung gemäß Anlage) aufgebracht; die Einzellasten F2 auf den Randbalken je Laststufe 5,14 kN.

Die Versuchskörper wurden für die Betongüte B25 und Betonstahl BSt 500S bemessen. Dabei wurde angestrebt, daß die Gebrauchslast bei ca. Laststufe 70 erreicht ist. Unter Berücksichtigung des Eigengewichtes und des Gewichtes der Belastungstraversen von ca. 1,5 kN/Seite ergeben sich die im Folgenden wiedergegebenen Bemessungswerte:

Platte: $b/d/h = 100/14/12$

$$M = \frac{0,14 \cdot 25 \cdot 2,132}{8} + \frac{1,5 \cdot 0,67}{3,2} + \frac{7 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 0,67}{3,2} = \underline{31,6 \text{ kNm/m}}$$

$$k_h = 12/\sqrt{31,6} = 2,13; \quad k_s = 4,1$$

$$a_s = 4,1 \cdot 31,6/12 = \underline{10,8 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

gewählt: Filigran D-Träger D10-0558; $a = 62,5 \text{ cm}$

+ $\emptyset 12$, $a = 11,5 \text{ cm}$

$$a_s = 9,83 + 0,39/0,625 = \underline{10,5 \approx 10,8 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

Querkraft:

$$q = \frac{2,13}{2} \cdot 0,14 \cdot 25 + \frac{1,5}{3,2} + \frac{7 \cdot 2 \cdot 10}{3,2} = \underline{47,94 \text{ kN/m}}$$

$$q' = 47,94 - 0,14 \cdot 25 \left(\frac{0,2}{3} + 0,12 \right) = \underline{47,28 \text{ kN/m}}$$

$$\tau_o = \frac{47,28 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0,12 \cdot 0,95} = 0,415 \text{ MN/m}^2 \quad \begin{array}{l} < 0,5 \text{ MN/m}^2 = \tau_{011}(b) \\ > 0,7 \cdot \tau_{011}(b) \end{array}$$

zul τ je Filigran-Träger:

$$\text{zul } \tau = \frac{0,34 \cdot 10^{-4} \cdot 420 \sqrt{2} \cdot 0,993}{1 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 1,75} = \underline{0,0657 \text{ MN/m}^2}$$

$$\text{erf } a = 0,0657/0,415 = \underline{0,16 \text{ m}}$$

Verankerungslänge der Biegezugbewehrung:

$$l_2 = 8 \text{ cm} \quad (\text{hier nicht gesondert nachgewiesen})$$

Randbalken: $b/b_0/d/h = 20/80/40/36,5$

$$q_B = (0,2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,14) \cdot 25 \cdot 1,5/3,2 = 5,97 \text{ kN/m}$$

$$q_{F1} = 2 \cdot 7 \cdot 10/3,2 = 43,75 \text{ ---}$$

$$q_{F2} = 7 \cdot 5,14 = 36,00 \text{ kN}$$

$$M = (5,97 + 43,75) \cdot 3^2/8 + 36 \cdot 1 = 91,94 \text{ kNm}$$

Bemessung als einseitiger Plattenbalken

$$k_h = 36,5/\sqrt{91,94/0,8} = 3,40 \quad \rightarrow \quad \begin{array}{l} k_s = 38 \\ k_x = 0,21 \end{array}$$

Nulllinie in der Platte

$$A_s = 3,8 \cdot 91,94/36,5 = 9,57 \text{ cm}^2$$

gewählt: $5 \text{ } \emptyset 16 = 10,1 \text{ cm}^2$

Querkraft:

$$A = B = (5,97 + 43,75) \cdot 3/2 + 36 = 110,58 \text{ kN}$$

$$Q' = 110,58 - (0,1 + 0,36/2) \cdot 49,72 = 96,66 \text{ kN}$$

Je nach Einbindetiefe der Fertigplatte ergibt sich:

$$\tau_0 = \frac{96,66 \cdot 10^{-3}}{0,36 \cdot 0,95 \cdot 0,2} = 1,41 \text{ MN/m}^2$$

0,18	1,47	---	
0,16	1,77	---	$< 1,8 \text{ MN/m}^2 = \tau_{012}$

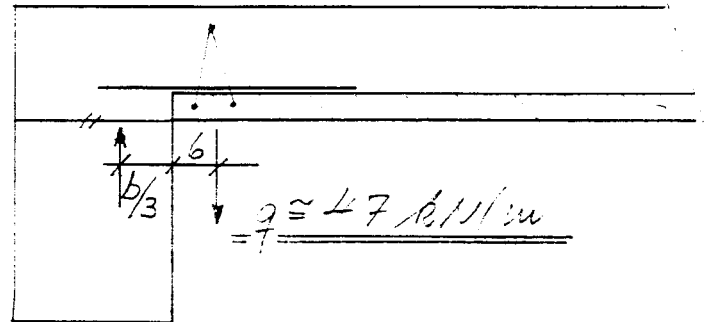
$$> 0,7 \tau_{012}$$

$$\text{erf } a_{S, \text{Bü}} = \frac{1,41 \cdot 0,2 \cdot 10^4}{286} = \underline{9,9 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

gewählt: $\phi 8, a = 10 \text{ cm} = \underline{10,05 \text{ cm}^2/\text{m}}$

(Weitere Nachweise zur allgemeinen Bemessung sollen an dieser Stelle nicht mit aufgenommen werden.)

Zu Versuch 3: (Konsollösung)



Aufhängebewehrung aus Filigranträger D10 mit Diagonalen 2 $\phi 5$ = 0,39 cm² Nennquerschnitt.

$$\text{erf } a_{S, v} = \frac{0,1 \cdot 47}{24 \cdot \sin 51,6^\circ} = \underline{0,25 \text{ cm}^2 < 0,39 \text{ cm}^2}$$

$$\text{erf } a_{S, h} = \frac{47 \cdot [(0,20 / 3) + 0,06]}{0,07 \cdot 28,6} = \underline{3,0 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

gewählt: $\phi 8, a = 15 \text{ cm} = 3,35 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zu Versuch 4:

Bei den Versuchen 4 der jeweiligen Serien wird die Biegezugbewehrung im Endauflagerbereich zugelegt:

$$F_{SR} = 47 \text{ kN/m}$$

$$\text{erf } a_{S, R} = 47/28,6 = 1,64 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{vorh } a_S = 9,83 \text{ cm}^2/\text{m}$$

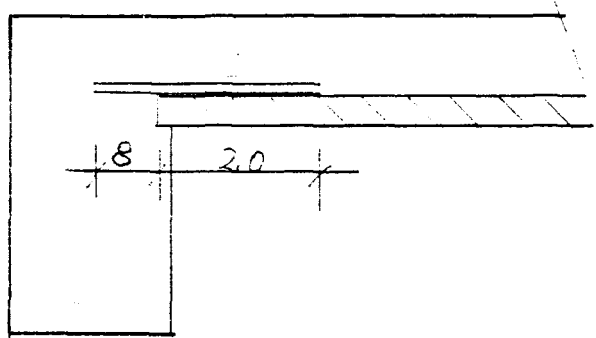
$$\alpha_1 = 1,0; \quad a_S/\text{vorh } a_S = 0,17$$

$$l_0 = 48 \text{ cm}$$

$$l_1 = 1 \cdot 0,17 \cdot 48 = 8,16 \text{ cm}$$

$$< 10 \cdot d_s = 12 \text{ cm}$$

$$l_{\ddot{u}} = \alpha_{\ddot{u}} \cdot 12 = 1,6 \cdot 12 = \underline{20 \text{ cm}}$$
$$> 15 \cdot d_s = 15 \text{ cm}$$



Die vollständige Bewehrung und Ausbildung der Versuchskörper der gesamten Versuchsserie 1 ist auf den Bewehrungszeichnungen 1 - 4 der Anlagen 1 bis 12 wiedergegeben.

2.2.2 Versuchsserie 2 - Mittenaufleger Feldbereich

Die Hauptabmessungen der Versuchskörper Versuchsserie 2 sind auf Bild 2 angegeben. Dabei sollte die Beanspruchung der Kragplatte im Auflagerbereich auf den unterstützenden Balken dem der Versuchsserie 1 im wesentlichen entsprechen. Die aus den vier kraftgesteuerten Pressen resultierenden Einzellasten F_1 (= 10 kN/Presse und Laststufe) werden durch eine entsprechende doppelte Traversenanordnung mit Lasteinleitungspunkten im Abstand von 40 cm näherungsweise in eine Randlinienlast umgesetzt.

Linienlasten aus $F_1 = 10$ kN/Laststufe

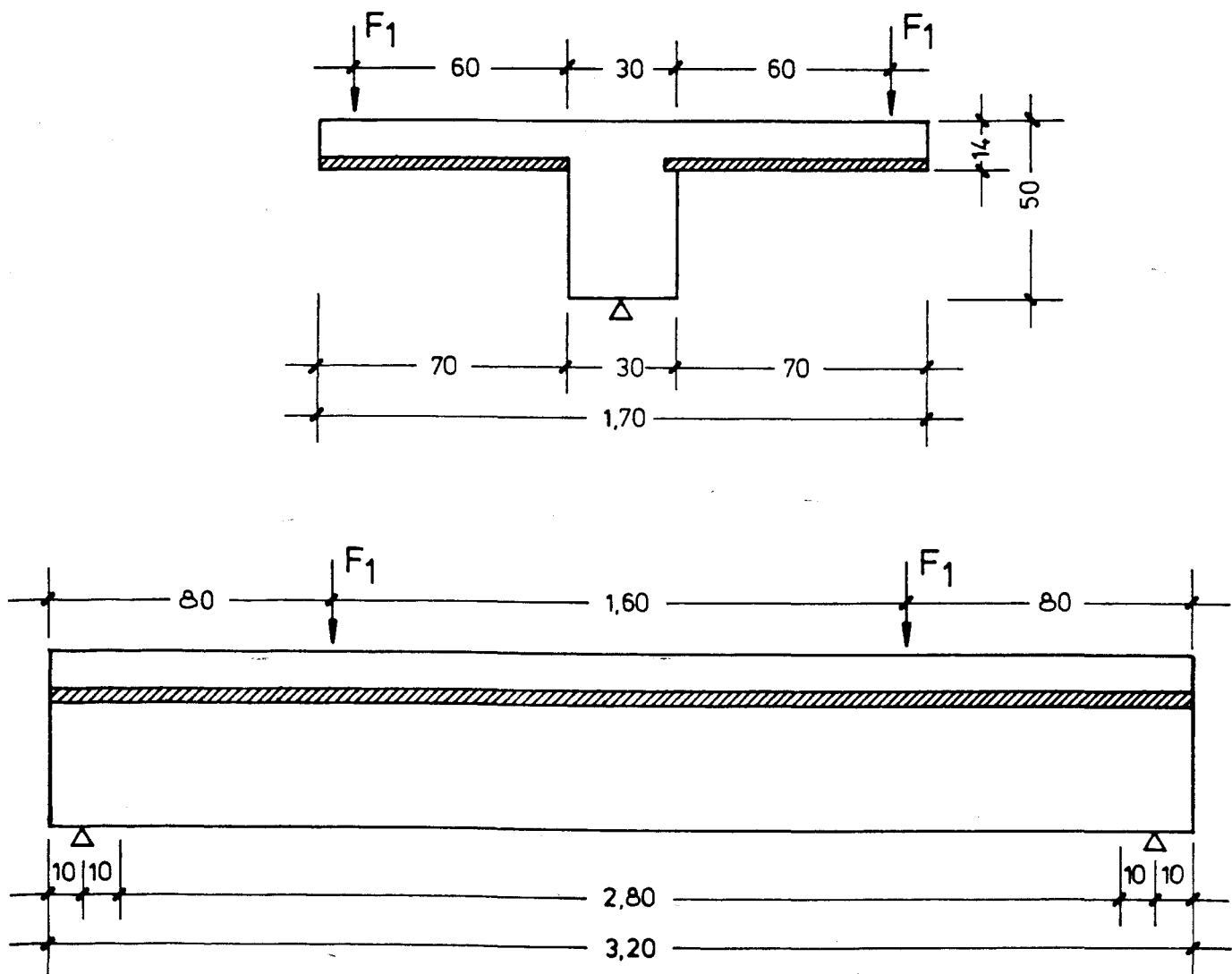


Bild 2: Versuchsserie 2 - Hauptabmessungen des Versuchskörpers und Versuchsbelastung

Im folgenden sollen die wesentlichen Dimensionierungen der Versuchskörper der Serie 2 zusammengestellt werden; dabei wurde wiederum angestrebt, daß die Gebrauchslast bei der Laststufe 70 erreicht wird.

Platte: $b/d/h = 100/14/12$ cm

$$M_{\text{Anschnitt}} = \frac{0,14 \cdot 25 \cdot 0,7^2}{2} + \frac{1,5 \cdot 0,6}{3,2} + \frac{7 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 0,6}{3,2} = \underline{27,39 \text{ kN/m}}$$

$$k_h = 12/\sqrt{27,39} = 2,29; \quad k_s = 4,0; \quad k_z = 0,88$$

$$a_s = 4,0 \cdot 27,39/12 = \underline{9,13 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

$$\text{gewählt: } \varnothing 12, a = 12,5 \text{ cm} = \underline{9,05 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

Querkraft:

$$Q_{\text{Anschnitt}} = 0,14 \cdot 0,7 \cdot 25 + 1,5/3,6 + 7 \cdot 10/4,2 = 46,62 \text{ kN/m}$$

$$q' = 46,62 - 0,14 \cdot 25 \cdot 0,12 = \underline{46,20 \text{ --}}$$

$$\tau = \frac{46,2 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0,12 \cdot 0,88} = 0,4375 \text{ MN/m}^2 \quad \begin{array}{l} < 0,5 = \tau_{011}(b) \\ > 0,7 \cdot \tau_{011}(b) \end{array}$$

gewählt: Fi-Träger D11-055 08

zul. τ je Filigranträger:

$$\text{zul } \tau = \frac{0,39 \cdot 10^{-4} \cdot 420 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,99}{1 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 1,75} = 0,0655 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{erf } a = 0,0655/0,4375 = \underline{0,15 \text{ m}}$$

gewählt: $a = \underline{0,16 \text{ m}}$ (wie bei Versuchsserie 1)

Verankerungslänge der Biegezugbewehrung:

Als Feldebewehrung wurde $\varnothing 10, a = 12,5$ cm gewählt. Bei Mittenauflagern wird bei der hier vorliegenden Beanspruchung gemäß DIN 1045 eine Verankerungslänge von $l_2 = 6$ cm

erforderlich; diese Verankerungslänge wurde bei Versuch 1 vorgesehen.

Balken: $b/b_0/d/h = 30/170/50/46 \text{ cm}$

$$q_B = 1,7 \cdot 0,14 \cdot 25 + 0,36 \cdot 0,3 \cdot 25 + 2 \cdot 1,5/3,2 = 9,59 \text{ kN/m}$$

$$q_{F1} = 4 \cdot 10 \cdot 7/3,2 = 87,50 \text{ --}$$

$$q = \underline{97,09 \text{ kN/m}}$$

$$M = 97,09 \cdot 3^2 / 8 = \underline{109,23 \text{ kNm}}$$

$$k_h = 46 / \sqrt{109,23/1,7} = 5,73$$

$$\rightarrow k_s = 3,65$$

$$k_x = 0,165$$

(Nulllinie in der Platte)

$$a_s = 3,65 \cdot 97,09 / 46 = \underline{7,7 \text{ cm}^2}$$

$$\underline{\text{gewählt: } 5 \text{ } \varnothing 16} = 10 \text{ cm}^2$$

Querkraft:

$$Q' = 97,09 \cdot 3/2 - [(0,2 / 3) + 0,46/2] \cdot 97,09 = \underline{116,8 \text{ kN}}$$

$$\tau_o = \frac{116,8 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 0,90 \cdot 0,46} = 0,94 \text{ MN/m}^2 > 0,7 \cdot \tau_{012} = 0,505$$

d. h., die seitliche Einschnürung durch die Fertigplatte hat keinen Einfluß auf die Bemessung der Bügelbewehrung.

$$\text{erf } a_{s,Bü} \approx \frac{0,94 \cdot 10^4 \cdot 0,3}{28,6} = \underline{9,86 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

$$\underline{\text{gewählt: Bügel } \varnothing 8, a = 10 \text{ cm}} = \underline{10,05 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

Die weiteren Bewehrungsdetails können den Bewehrungszeichnungen 5 bis 8 der Anlage 1 bis 12 entnommen werden.

Für die Bemessung der Zulagebewehrung im Auflagerbereich gelten die Angaben wie in Abschnitt 2.2.1.

2.2.3 Versuchsserie 3 - Mittenaufleger Stützbereich

Die Beanspruchung der Versuchskörper der Versuchsserie 3 wurde **näherungsweise** so konzipiert, daß der Versuchskörper als herausgeschnittener Stützmomentenbereich eines Durchlaufträgers angesehen werden kann, dessen Feldbereich durch die Versuchskörper der Serie 2 dargestellt wird. Der prinzipielle Versuchsaufbau und die Hauptabmessungen sind im Bild 3 angegeben (vgl. auch Anlage 1 bis 12).

Linienlasten aus $F_1 = 10 \text{ kN/Laststufe}$

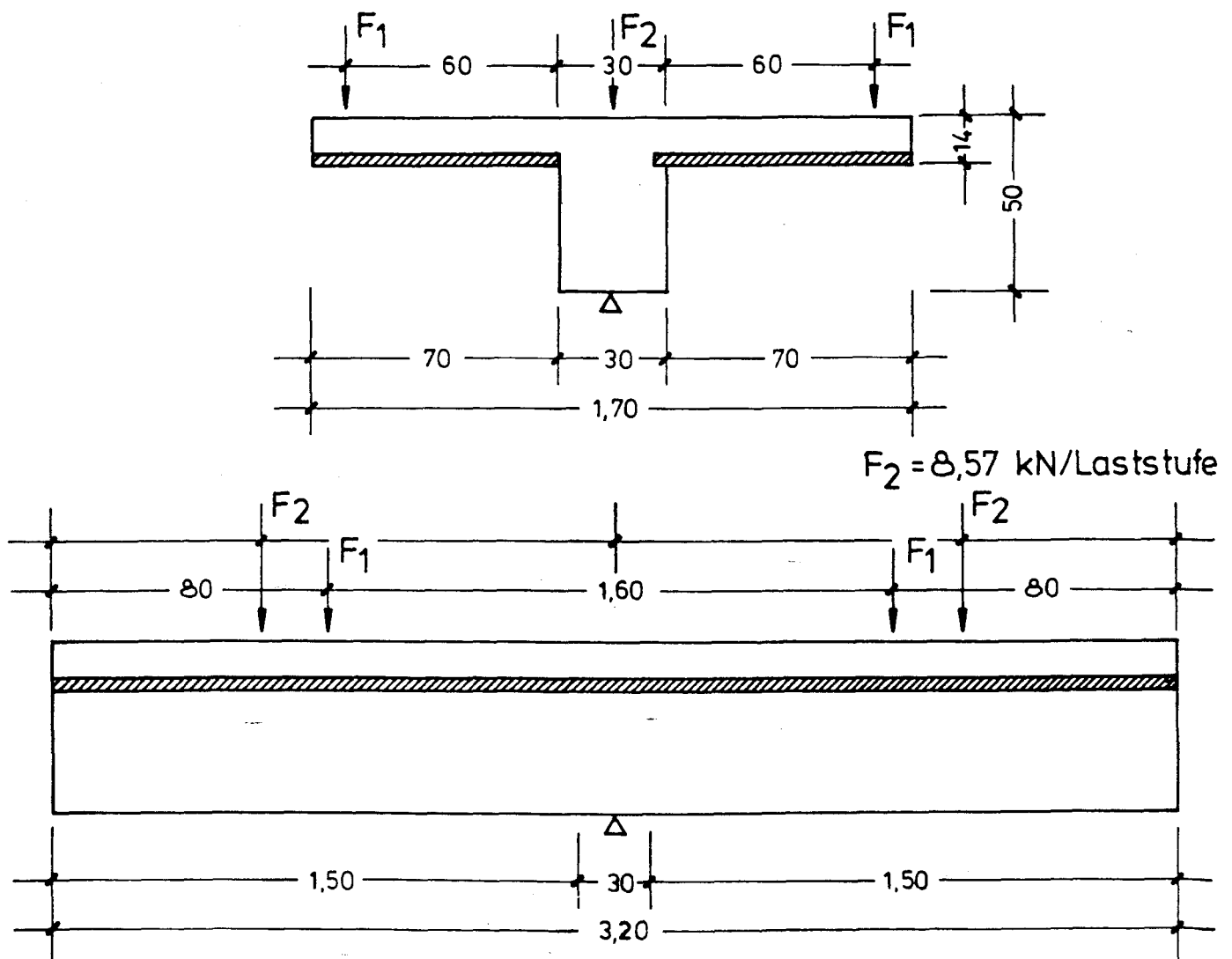


Bild 3: Versuchsserie 3 - Hauptabmessungen des Versuchskörpers und Versuchsbelastung

Die Bemessung der Platte erfolgt analog Abschnitt 2.2.2.

Balken: $b/d/h = 30/50/46 \text{ cm}$

$q = 97,09 \text{ kN/m}$ (vgl. Abschnitt 2.2.2)

$$M = 97,09 \cdot 1,5^2 / 2 + 7 \cdot 8,57 \cdot 1 = \underline{184,28 \text{ kNm}}$$

$$M' = 184,28 - (97,09 \cdot 3,2 + 2 \cdot 60) \cdot 0,2 / 8 = \underline{173,51 \text{ kNm}}$$

$$k_h = 46 / \sqrt{173,51 / 0,3} = 1,91 \quad \begin{array}{l} k_s = 4,2 \\ k_z = 0,83 \end{array}$$

$$\text{erf } a_s = 4,2 \cdot 173,51 / 46 = \underline{15,8 \text{ cm}^2}$$

$$\underline{\text{gewählt:}} \quad 8 \text{ } \phi 16 = 16,1 \text{ cm}^2$$

Querkraft:

$$Q' = 1,6 \cdot 97,09 + 60 - (0,1 + 0,46/2) \cdot 97,09 = \underline{183,3 \text{ kN}}$$

$$\tau_o = \frac{183,3 \cdot 10^{-3}}{0,3 \cdot 0,46 \cdot 0,83} = 1,6 \text{ MN/m}^2 > 0,7 \tau_{012}$$

$$\text{erf } a_{s,\text{Bü}} = \frac{1,6 \cdot 0,3 \cdot 10^4}{286} = \underline{17,4 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

$$\underline{\text{gewählt:}} \quad \phi 10, a = 9 \text{ cm} = 17,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Bei Berücksichtigung der Einschnürung durch die Fertigteilplatte steigt der Rechenwert der Verbundspannung zwar an, da jedoch $\tau_o > 0,7 \tau_{012}$ ist, hat dies auf die Bemessung keinen Einfluß.

Die weiteren Bewehrungsdetails werden analog den in den vorangehenden Abschnitten ausgewiesenen ausgeführt. Die Bewehrungszeichnungen der Versuchskörper sind in der Anlage 1 bis 12 (Blatt 9 bis 12) enthalten.

3. Materialfestigkeiten

3.1 Beton

Die Deckenplatten - sowie Balkenfertigteile - wurden in den eingangs genannten Fertigteilwerken werksmäßig angefertigt. Nach dem Zusammenbau der Versuchskörper am Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz wurde der Ortbeton der Platte ergänzt. Die Ergebnisse der Würfeldruckprüfung der norm- und versuchsbegleitend gelagerten Probewürfel, sowie die Ergebnisse der Biegezugfestigkeitsprüfung des Plattenaufbetons sind in den folgenden Tabellen 1 bis 9 zusammengestellt.

Dabei ist zu bemerken, daß beim Ergänzungsbeton der Platte versucht wurde, die Eigenschaften eines B25 gezielt herzustellen, für den Fertigteilbeton jedoch die jeweiligen "Standardmischungen" der Herstellwerke verwendet wurden, was sich dann in entsprechend höheren Betondruckfestigkeiten niederschlug. So sind diese Betone aufgrund der erzielten Würfeldruckfestigkeiten nach Normlagerung teilweise als B45, zumindest jedoch als "gute" B35, einzustufen.

Die Ergebnisse der Normdruckprüfung zeigen, daß die angestrebte Betonnormdruckfestigkeit für B25 bei den Einzelergebnissen zum Teil überschritten, bei den Mittelwerten jedoch relativ gut erreicht wurde.

Betondruckfestigkeiten die an Probewürfeln mit 15 cm Kantenlänge ermittelt wurden, sind zum Vergleich mit dem Faktor 0,95 (gemäß. DIN 1045, Abschnitt 7.4.3.5.3) auf die Werte $\beta_{W,200}$ umgerechnet.

VERSUCHSSERIE S1

Fertigteilbeton: Würfel 15 x 15 x 15

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	B_W [N/mm ²]	$B_{W,MW}$ [N/mm ²]	$B_{W,*MW}$ 0,95
S1-V1 + S1-V2	1/1	28	Normlagerung	59	59	56
	1/2			57		
	1/3			61		
	2/4	28	versuchs- begleitend	51	50	47
	2/5			50		
	2/6					
	3/7	63	- " -	53	52	49
	3/8			49		
	3/9			53		
S1-V3 + S1-V4	4/1	28	Normlagerung	57	56	53
	4/2			57		
	4/3			55		
	5/4	28	versuchs- begleitend	46	45	43
	5/5			44		
	5/6			44		
	6/7	71	- " -	48	47	45
	6/8			46		
	6/9			48		

**Tabelle 1: Ergebnisse der Würfeldruckprüfung Versuchsserie S1
Fertigteilbeton der Balken und Platten**

Plattenbeton: Würfel 15 x 15 x 15

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	β_W [N/mm ²]	$\beta_{W,MW}$ [N/mm ²]	$\beta_{W,MW}$ 0,95
S1-V1 + S1-V2	7/1 7/2 7/3	28	Normlagerung	40 39 39	39	37
S1-V1	8/4 8/5 8/6	29	versuchs- begleitend	38 37 39	38	36
S1-V2	9/7 9/8 9/9	36	- " -	38 40 39	39	37
S1-V3 + S1-V4	10/1 10/2 10/3	28	Normlagerung	34 36 36	35	33
S1-V3	11/4 11/5 11/6	33	versuchs- begleitend	35 34 34	34	32
S1-V4	12/7 12/8 12/9	41	- " -	37 37 36	37	35

Tabelle 2: Ergebnisse der Würfeldruckprüfung Versuchsserie S1
Aufbeton der Platte

Biegezugfestigkeit: Plattenbeton

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	β_Z [N/mm ²]	$\beta_{Z,MW}$ [N/mm ²]
S1-V1 + S1-V2	1/1 1/2 1/3	40	versuchs- begleitend	3,64 2,92 2,39	2,98
S1-V3 + S1-V4	2/4 2/5 2/6	45	- " -	2,80 3,10 2,90	2,90

Tabelle 3: Biegezugfestigkeiten des Aufbetons der Platte
Versuchsserie S1

VERSUCHSSERIE S2

Fertigteilbeton: Würfel 20 x 20 x 20

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	B_W [N/mm ²]	$B_{W,MW}$ [N/mm ²]
S2-V1	1	94	versuchs- begleitend	45	44
	2			43	
	3			45	
S2-V2	1	107	- " -	46	49
	2			54	
	3			48	
S2-V3	1	108	- " -	49	53
	2			55	
	3			55	
S2-V4	1	122	- " -	53	54
	2			55	
	3			54	

Tabelle 4: Ergebnisse der Würfeldruckprüfung Versuchsserie S2
Fertigteilbeton der Balken und Platten

Plattenbeton: Würfel 15 x 15 x 15

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	B_W [N/mm ²]	$B_{W,MW}$ [N/mm ²]	$B_{W,MW}$ *, 0,95
S2-V1 + S2-V2	1	28	Normlagerung	31	30	29
	2			31		
	3			29		
	4	35	versuchs- begleitend	29	30	29
	5			30		
	6			31		
S2-V3 + S2-V4	1	28	Normlagerung	32	33	31
	2			33		
	3			35		
	4	40	versuchs- begleitend	28	28	27
	5			28		
	6			28		

Tabelle 5: Ergebnisse der Würfeldruckprüfung Versuchsserie S2
Aufbeton der Platte

Biegezugfestigkeit: Plattenbeton

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	β_Z [N/mm ²]	$\beta_{Z,MW}$ [N/mm ²]
S2-V1 + S2-V2	1 2 3	35	versuchs- begleitend	2,98 2,75 2,96	2,90
S2-V3 + S2-V4	1 2 3	40	- " -	2,42 2,53 2,42	2,46

Tabelle 6: Biegezugfestigkeiten des Aufbetons der Platte Versuchsserie S2

VERSUCHSSERIE S3

Fertigteilbeton: Würfel 20 x 20 x 20

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	β_W [N/mm ²]	$\beta_{W,MW}$ [N/mm ²]
S3-V1	1 2 3	170	versuchs- begleitend	51 54 50	52
S3-V2	1 2 3	194	- " -	55 58 58	57
S3-V3	1 2 3	197	- " -	37 36 38	37
S3-V4	1 2 3	202	- " -	47 52 51	50

Tabelle 7: Ergebnisse der Würfeldruckprüfung Versuchsserie S3
Fertigteilbeton der Balken und Platten

Plattenbeton: Würfel 15 x 15 x 15

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	B_W [N/mm ²]	$B_{W,MW}$ [N/mm ²]	$B_{W,MW}$ 0,95
S3-V1 + S3-V2	1	28	Normlagerung	35	34	32
	2			34		
	3			34		
	4	39	versuchs- begleitend	31	31	29
	5			31		
	6			30		
S3-V3 + S3-V4	1	28	Normlagerung	35	34	32
	2			34		
	3			33		
	4	36	versuchs- begleitend	28	28	27
	5			28		
	6			27		

Tabelle 8: Ergebnisse der Würfeldruckprüfung Versuchsserie S3
Aufbeton der Platte

Biegezugfestigkeit: Plattenbeton

Vers.	Bez.	Prüfalter in Tagen	Lagerung/Art	β_Z [N/mm ²]	$\beta_{Z,MW}$ [N/mm ²]
S3-V1 + S3-V2	1	40	versuchs- begleitend	2,47	2,47
	2			2,38	
	3			2,55	
S3-V3 + S3-V4	1	36	- " -	2,64	2,52
	2			2,49	
	3			2,43	

Tabelle 9: Biegezugfestigkeiten des Plattenaufbetons
Versuchsserie S3

3.2 BETONSTAHLFESTIGKEITEN

Die Streckgrenze und Zugfestigkeit des verwendeten Betonstahles BSt 500S wurde für die relevanten Bewehrungsdurchmesser ermittelt und ist in Tabelle 10, 11 und 12 angegeben. Da die Bewehrung der Versuchsserie 1 aus einer Bewehrungscharge hergestellt wurde, ist in der Tabelle 10 der Mittelwert der drei jeweils entnommenen Proben angegeben. Die Bewehrung der Versuchskörper der Serie 2 und 3 wurde zu unterschiedlichen Zeitpunkten hergestellt. Aus diesem Grunde wurde nach dem Versuch jeweils ein relativ unbeanspruchter Bewehrungsstab der verwendeten Durchmesser herausgestemmt und anschließend geprüft. Die angegebenen Festigkeitswerte sind auf die Nenndurchmesser bezogen.

Dabei ist zu bemerken, daß alle untersuchten Stähle eine ausgeprägte Fließgrenze aufwiesen. Lediglich bei den herausgetrennten Diagonalen der verwendeten Filigran-Gitterträger wurde die $R_{p0,2}$ -Grenze aus dem entsprechenden Meßschrieben nachträglich herausgegriffen; aus diesem Grunde sind diese, in den folgenden Tabellen mit * gekennzeichneten Werte, als nicht exakt ermittelt zu betrachten.

Stabdurchmesser/ Bezeichnung	Streckgrenze [N/mm ²]	Zugfestigkeit [N/mm ²]	Bemerkung
∅ 8 - Bügel	634	687	./.
∅ 8 - Zulagen	582	702	./.
∅ 12 - Platten- bewehrung	601	676	./.
∅ 5-Fi-Diagonalen	631*	665	R _{P0,2} *

Tabelle 10: Ermittelte Betonstahleigenschaften der Versuchsserie S1

Stabdurchmesser/ Bezeichnung	Streckgrenze [N/mm ²]	Zugfestigkeit [N/mm ²]	Bemerkung
∅ 8 - Bügel + Zulagen	V1 588 V2 578 V3 584 V4 568	633 607 633 611	./.
∅ 10	V1 596 V2 599 V3 580 V4 543	668 681 677 640	./.
∅ 12	V1 581 V2 598 V3 589 V4 576	656 679 665 645	./.
∅ 5 - Fi-Dia- gonalen (Ist∅ = 4,81mm)	V1 560* V2 605* V3 600* V4 590*	596 632 626 621	R _{P0,2} *

Tabelle 11: Ermittelte Betonstahleigenschaften der Versuchsserie S2

Stabdurchmesser/ Bezeichnung	Streckgrenze [N/mm ²]	Zugfestigkeit [N/mm ²]	Bemerkung
∅ 10 - Bügel V1 V2 V3 V4	598 541 554 555	661 632 643 607	./.
∅ 10 V1 V2 V3 V4	553 545 592 565	644 633 677 649	./.
∅ 12 V1 V2 V3 V4	585 576 571 583	664 641 659 651	./.
∅ 5 - Fi-Dia- V1 gonalen V2 (Ist = 4,81mm)V3 V4	586* 601* 594* 599*	621 632 626 632	R _{p0,2} *

Tabelle 12: Ermittelte Betonstahleigenschaften der Versuchsserie S3

4. VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

4.1 ALLGEMEINES

Eine Ansicht des jeweiligen Versuchsaufbaues jeder Versuchsserie ist auf den Fotos der Anlage 13 wiedergegeben; der prinzipielle Versuchsaufbau bereits auf den Abbildungen 1 bis 3. Die Belastung durch die vier mittleren Hauptpressen wurde in Stufen von je 10 kN/Presse (= Laststufenbezeichnung der Auswertung) aufgebracht, wobei nach jeder Laststufe eine Verweildauer von ca. 10 Minuten vorgesehen wurde. Nach dem Erreichen der Gebrauchslast (= Laststufe 70) wurde eine Standzeit von 30 Minuten eingehalten, wonach die Belastung dann wiederum in Stufen von 10 kN/Hauptpresse bis zum Bruch gesteigert wurde. Sobald sich das Erreichen der Bruchlast durch eine verstärkte Rißbildung abzeichnete, wurde die Laststeigerung auf 5 kN/Hauptpresse zurückgenommen; die Messungen dieser Zwischenstufen sind jedoch nicht mit in die entsprechenden Diagramme aufgenommen worden. Die Laststufen der weiteren Belastungseinrichtungen auf den Rand- oder Mittelträgern zur Eintragung der notwendigen Zusatzlasten wurden entsprechend der vorgegebenen Laststufe mit gesteigert.

Das Versagen der Versuchskörper wurde in fast allen Fällen durch das Erreichen der Fließgrenze in der Biegezugbewehrung in den Platten eingeleitet. Um eine Gefährdung der Versuchseinrichtung durch abkippende Belastungstraversen etc. zu vermeiden, mußten die Versuche beim Erreichen entsprechend großer Verformungen - zum Teil von nur einer Plattenseite - abgebrochen werden, da dann eine weitere Belastungssteigerung nicht mehr möglich war. In den Diagrammen der Auswertung ist jeweils das Meßergebnis zu Ende der letzten noch ertragenen Laststufe bzw. Zwischenmessung eingetragen; der "Bruch" erfolgte dann bei Laststeigerung zur nächsten Belastungsstufe.

4.2 DURCHBIEGUNGSMESSUNGEN

Die zu den einzelnen Laststufen zugehörigen Durchbiegungen wurden an den in Bild 4 angegebenen Punkten gemessen, und sind bei der jeweiligen Auswertung der Versuchsergebnisse in Anlage 15 mit angegeben. Dabei wurde bei der Versuchsserie 1 jeweils die Durchbiegung der Randbalken und die Durchbiegung der Platte in Querrichtung an den Rändern und in Versuchskörpermitte aufgetragen.

Bei den Versuchen der Serie 2 und 3 wurde jeweils die Durchbiegung der Platte an den Plattenrändern aufgetragen. Dabei ist zu bemerken, daß bei den mittengelagerten Versuchen der Versuchsserie 3 eine geringe Verdrehung der Versuchskörper um das Auflager trotz genauer Einstürierung mit vorheriger Teilbelastung nicht vermieden werden konnte. Dies mag zum einen aus geringen unterschiedlichen Pressenkräften der zentral-kraftgesteuerten Pressenanlage zum anderen auch aus noch vorhandenen Unebenheiten der einbetonierten Stahl-Lagerplatten herrühren; hatte jedoch auf die Versuchsergebnisse keinen Einfluß.

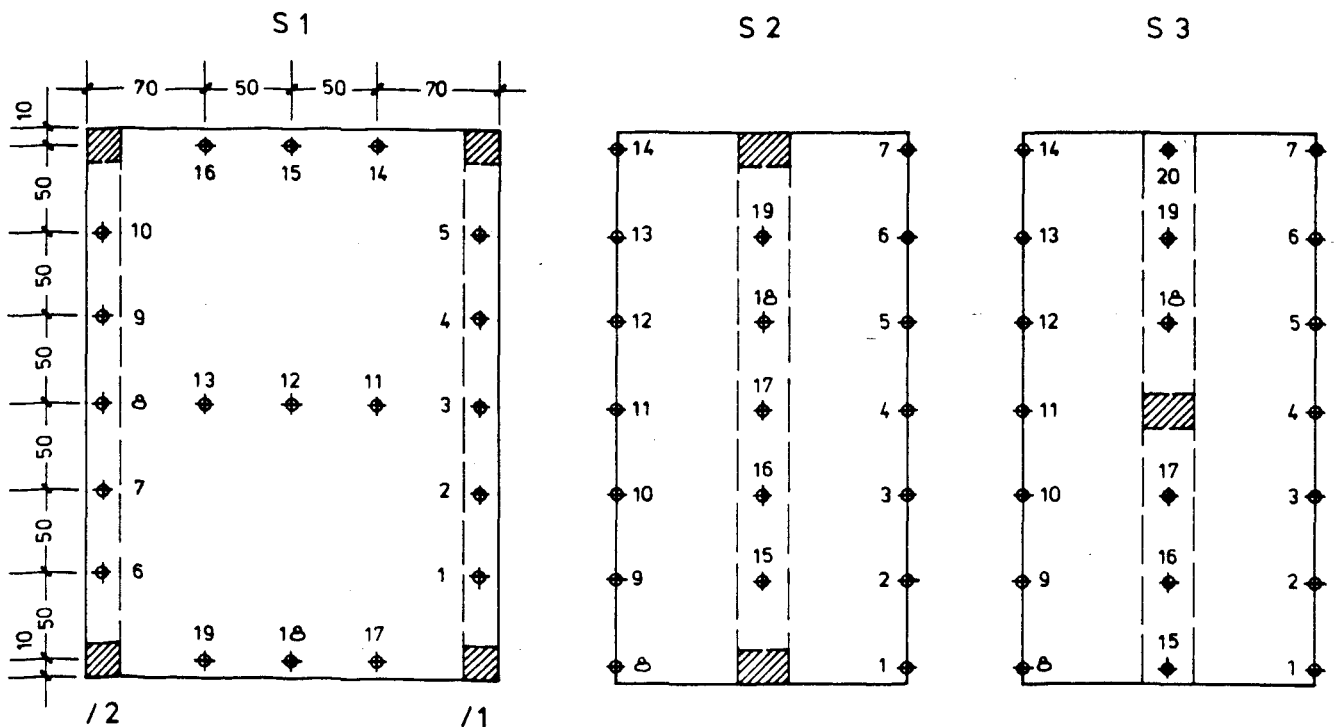


Bild 4: Anordnung der Durchbiegungsmeßstellen

4.3 ANORDNUNG DER DEHNMEßSTELLEN

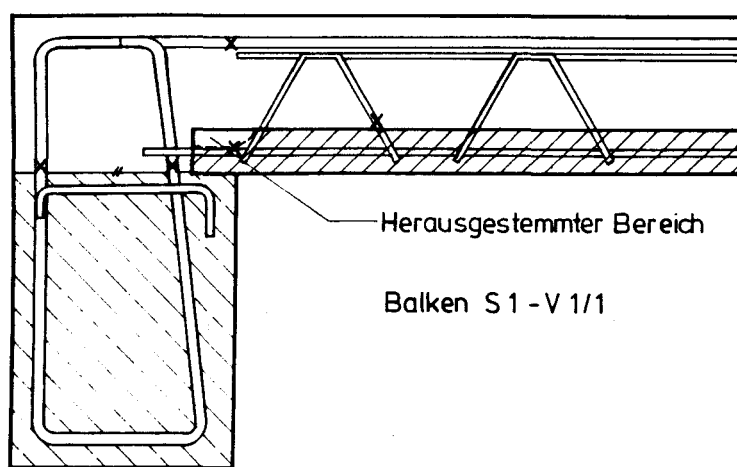
Bei den drei durchgeführten Versuchsserien sind die Balken sowie die Platte oder die Kragplatten als "Hilfskonstruktionen" zur realitätsnahen Belastung des Auflagerbereiches zu verstehen. Aus diesem Grunde wurden auch an diesen Bauteilen keine weitergehenden Dehnungsmessungen an den Bewehrungsstäben vorgenommen, sondern die gesamten Messungen konzentrieren sich, abgesehen von denen der Bügelspannungen in der Verbundfuge zwischen Aufbeton und Unterstützungsbalken und der Verbundbewehrung in den Platten, auf den unmittelbaren Auflagerbereich. Folgende Messungspunkte wurden ausgewählt:

- Serie 1: a) Bügelspannungen in der Verbundfuge zwischen Plattenaufbeton und Rand- bzw. Mittenbalken. (Versuch V1 bis V4)
- b) Endverankerung der Biegezugbewehrung in der Platte (Versuch V1)
- c) Erste aufgehende Diagonale der Filigran-Verbund/Schubbewehrung in der Platte (Versuch V1 - V4)
- d) Auflagerzulagen (Versuch V3 + V4)
- e) Aufhängungsbewehrung der Konsollösung (Versuch V3)
- f) Obenliegender abgebogener Bügelschenkel der Balkenbewehrung (Versuch V1 - V4)

Serie 2 + 3: - analog Serie 1 - außer Punkt f)

Die genaue Lage der Dehnmeßstellen ist in den Abbildungen 5 und 6 auf Seite 28 angegeben. Die Zuordnung der einzelnen Dehnmeßstellen zu den Versuchskörpern kann den Bewehrungszeichnungen der Anlage 1 bis 12 entnommen werden.

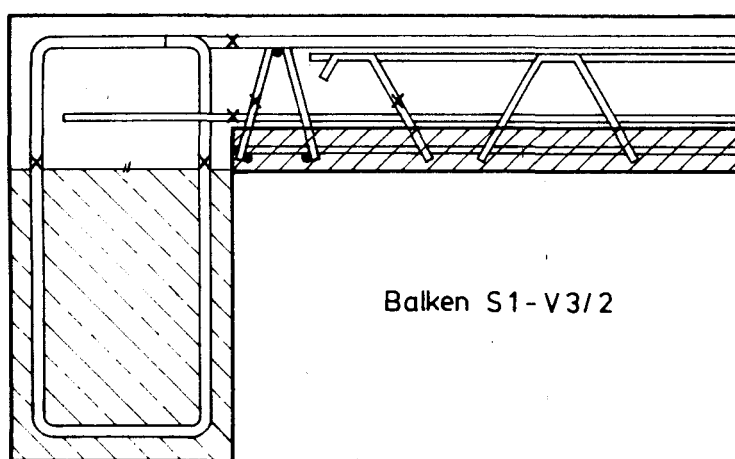
Die gemessenen Stahldehnungen aller Versuche sind in Anlage 15 zusammengestellt.



Herausgestemmter Bereich

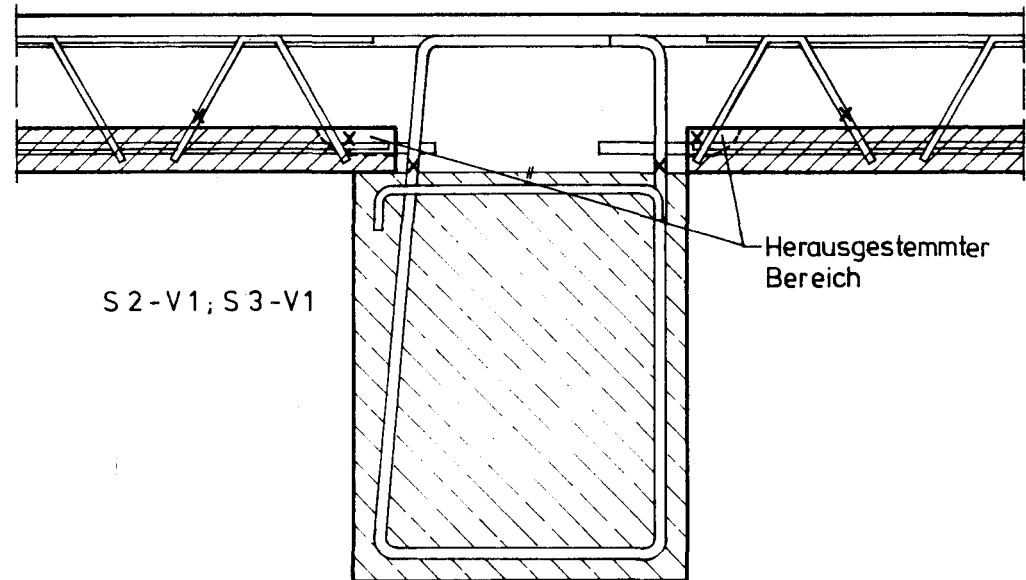
Balken S1 - V 1/1

Längsbewehrung nicht eingezeichnet !



Balken S1 - V 3/2

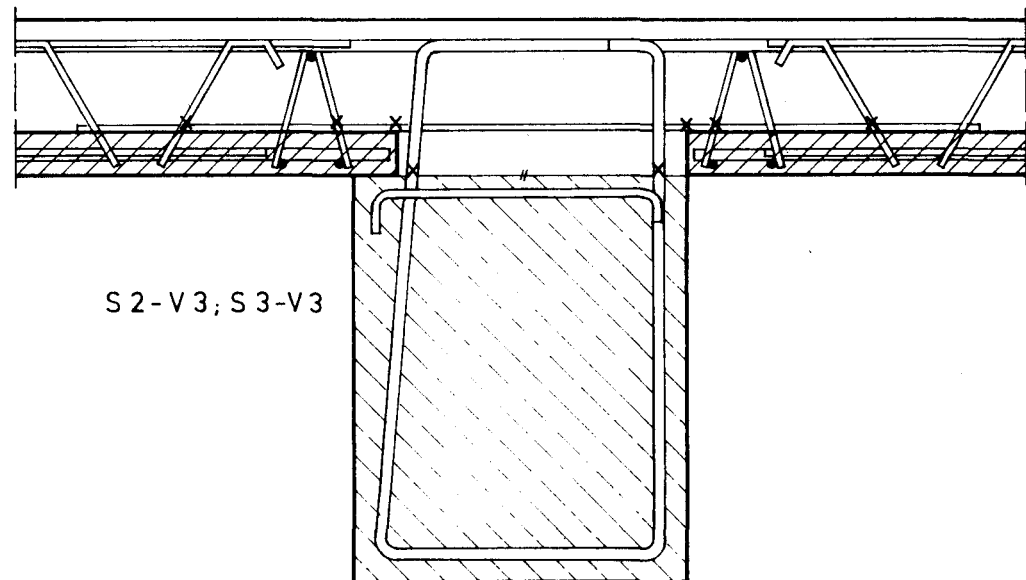
Bild 5: Prinzipielle Anordnung der DMS (x); alle anderen Balken der Versuchsserie 1 mit analoger DMS-Anordnung



S 2 - V1; S 3 - V1

Herausgestemmter Bereich

Längsbewehrung nicht eingezeichnet !



S 2 - V3; S 3 - V3

Bild 6: Prinzipielle Anordnung der DMS (x); alle anderen Balken der Serie 2 u. 3 mit analoger DMS-Anordnung

4.4 RIßBILDER

Die detaillierte Rißentwicklung in Abhängigkeit von der Lastaufbringung konnte nur an den Außenseiten der Balken der Serie 1 verfolgt werden. Bei den Versuchskörpern der Serie 2 und 3 konnte die Rißentwicklung an den Plattenaußenseiten verfolgt werden. Die Plattenoberseiten aller Versuchskörper waren wegen der Anordnung der doppelten Belastungstraversen und der Durchbiegungsmeßstellen während des laufenden Versuches nicht zugänglich; auch bestand besonders bei der Aufbringung der letzten Laststufen infolge der starken Plattendurchbiegung eine zunehmende Kippgefahr der Belastungstraversen.

Die im Anlage 14, Bild 1 - 12 angegebenen Rißbilder der Balken wurden nach Versuchsende, zum Teil noch unter Teilbelastung aufgenommen. Die Rißbilder zur Erläuterung der Bruchmechanismen im Auflagerbereich werden noch gesondert behandelt.

5. ERGEBNISSE

5.1 VERSUCHSSERIE 1 - ENDAUFLAGER

Um wegen des eventuellen vorzeitigen Versagens eines Auflagerbereiches den Versuch fortführen zu können, war bei der Versuchsserie 1 die Möglichkeit vorgesehen, die Platte in diesem Bereich auf einen vor Versuchsbeginn neben dem Stahlbetonbalken eingebauten IPB-Träger aufzulegen, um dann mit entsprechend veränderter Belastungssteuerung den Versuch zu Ende fahren zu können. Von dieser Möglichkeit mußte bei Versuch S1/V2 Gebrauch gemacht werden; vgl. auch Versuchsbeschreibung.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Versuchsergebnisse in Bezug auf die Traglast und den Versagensmodus dieser Versuchsserie kurz dargestellt werden:

S1 - V1 Fließen der Feldbewehrung nach dem Aufbringen der Laststufe 140, dies entspricht einem Feldmoment der Platte von:

$$M_u = 1,24 + \frac{14 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 0,67}{3,2} = \underline{59,90 \text{ kNm/m}}$$

$$\gamma_m = 59,90/31,6 = 1,9 > 1,75$$

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Materialfestigkeiten des Betons und des Bewehrungsstahles (vgl. Tabelle 1 und 3) sowie der Plattenabmessungen von

$$\beta_R = 0,8 \cdot 37 = 29,6 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_S = 601 \text{ N/mm}^2$$

und $b/d/h = 100/14/12 \text{ cm}$

ergibt sich ein Bruchmoment $M_{1u} = 68,0 \text{ kNm/m}$ (Berechnung hier nicht mit wiedergegeben). Die noch verbleibende Diskrepanz zu dem zuvor berechneten Bruchmoment $M_u = 59,9 \text{ kNm/m}$ läßt sich aus dem Versuchsaufbau erklären. Wegen der allseitig verschieblichen Auflagerung des Randbalkens auf Punktkipp- und Panzerrollenlager verändert sich wegen der nun möglichen Balkenverdrehung die Stützweite gegenüber den Annahmen der Auslegungsberechnung, noch verstärkt durch die zu Versuchsende auftretende starke Balkenverdrehung. Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge ergibt sich:

$$M_a = \frac{0,14 \cdot 25 \cdot 2,24^2}{8} + \frac{1,5 \cdot 0,721}{3,2} + \frac{2,021 \cdot 2 \cdot 5,14 \cdot 14}{3,2} + \frac{14 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 0,721}{3,2} = \underline{66,6 \text{ kNm/m}} \sim 68 \text{ kNm/m}$$

Der restliche Fehler von ca. 2 % kann durch die üblichen noch vorhandenen Abweichungen in Geometrie und Materialfestigkeit etc. erklärt werden.

S1 - V2:

Bei diesem Versuch erfolgte sofort nach dem Aufbringen der Laststufe 90 (eine Messung konnte nicht mehr vorgenommen werden) ein schlagartiger Bruch am Auflager V2/2. Das aus der Verdrehung des Randbalkens resultierende Moment am Plattenanschnitt konnte wegen der fehlenden fugenübergreifenden Anschulßbewehrung im Endverankerungsbereich der Plattenfeldbewehrung nicht aufgenommen werden, wodurch der Balken regelrecht nach außen "wegklappte". (vgl. auch Bild 7).

Nach Auflagerung auf das vorhandene Hilfsauflager neben den Balken V2/2 konnte der Versuch mit einer entsprechend der veränderten Geometrie und einer modifizierten Belastungssteuerung fortgesetzt werden. Der Bruch im Auflagerbereich V1/1 (siehe Bild 7) erfolgte ebenfalls

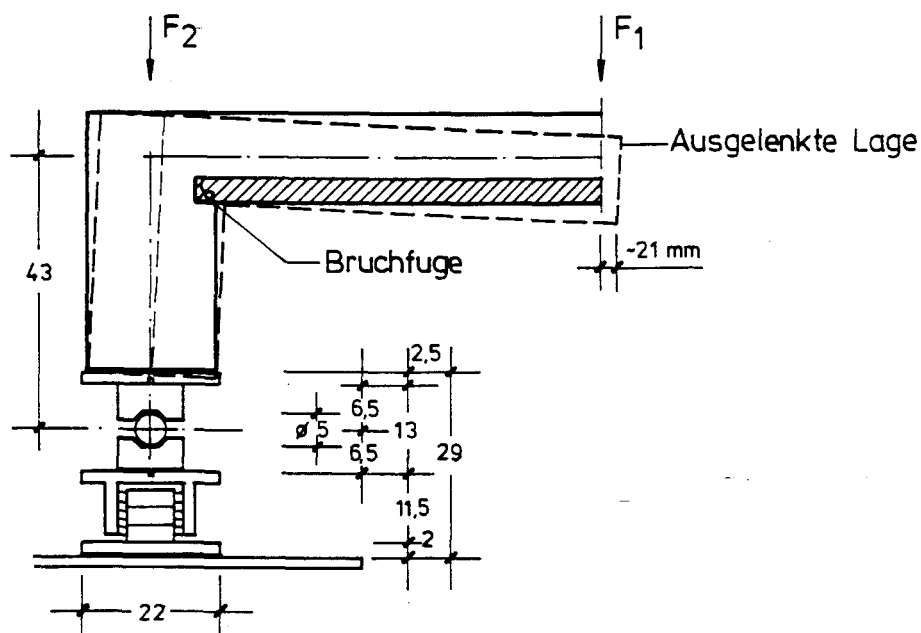


Bild 7: Verformung des Auflagers S1-V2/1 kurz vor dem Erreichen der Bruchlast

schlagartig nach dem Aufbringen der Laststufe 135 (eine Messung konnte nicht mehr durchgenommen werden) durch

Überschreiten der Betonzugfestigkeit der in den Ortbeton eingebundenen Fertigteilplatte, die hier, bei einer Auflagertiefe von 4 cm, das aus der Balkenverdrehung resultierende Versatzmoment aufgenommen hatte. Da bei solchen unangekündigten Brücken gemäß DIN 1045 mindestens eine Sicherheit von $\gamma = 2,1$ gefordert werden muß, kann im Falle der Endauflagerung die hier geprüfte Lösung ohne weitere Zustazmaßnahmen **nicht** toleriert werden. Dabei ist jedoch zu erwähnen, daß im Falle einer Verdrehungsbehinderung der Endauflagerbalken auch diese Lösung sicherlich die geforderte Bruchlast mit einem Sicherheitsbeiwert von 1,75 mit Sicherheit ertragen hätte.

S1 - V3:

Bruch am Auflager V3/2 (nicht aufliegende Seite der Fertigteilplatte), eingeleitet durch die Verdrehung des Randbalkens und Erreichen bzw. Überschreiten der Fließgrenze ($e_u \sim 3 \text{ ‰}$ vgl. Bild 8) der Auflager-Zulagebewehrung nach dem Aufbringen der Laststufe 135.

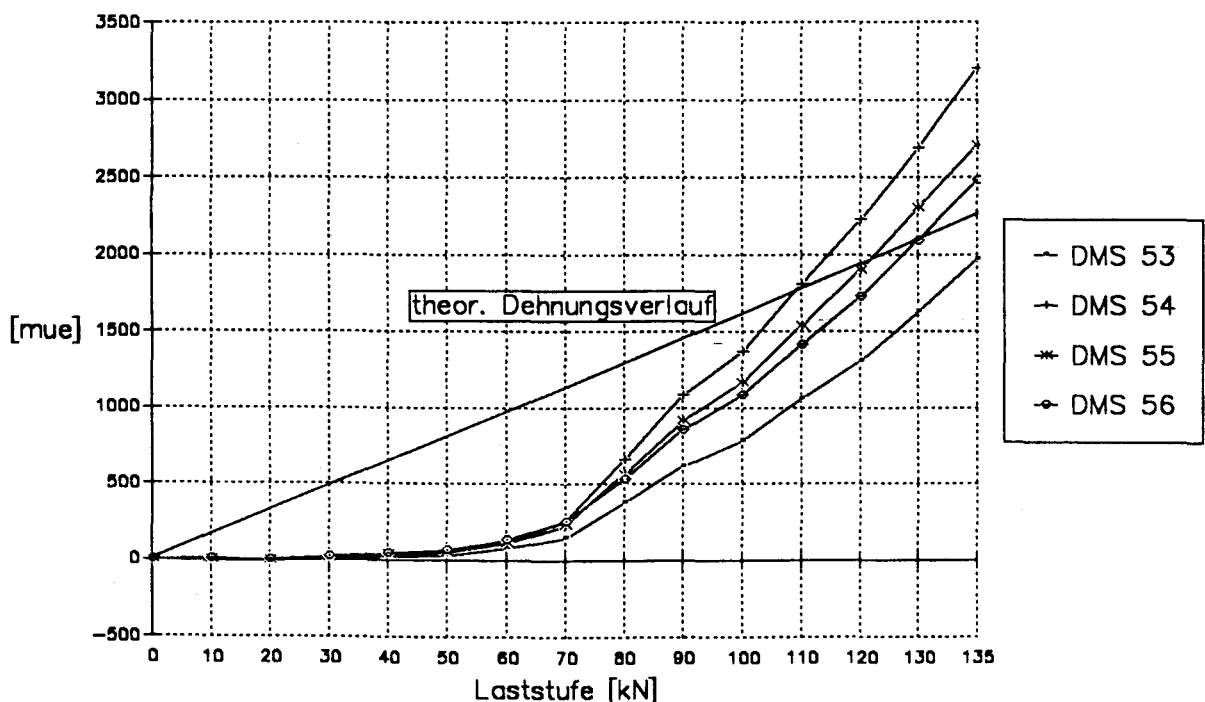


Bild 8: Dehnungsverlauf der horizontalen Auflagerzulagen der "Konsollösung", Balken V3/2

Der Bruch erfolgte jedoch nicht schlagartig wie bei Versuch S1 - V2, sondern kündigte sich durch eine ausgeprägte Rißbildung im Auflagerbereich an. Da die Auflagerzulagebewehrung jedoch nicht zur Aufnahme des aus der Verdrehung resultierenden zusätzlich auftretenden Versatzmomentes bemessen war, mußte der Bruch an diesem Auflager auftreten. Der Versuch wurde in diesem Stadium abgebrochen, da die Bruchlast des Null-Versuches S1 - V1 ohnehin fast erreicht war. Da die entsprechenden Dehnungen in den Endauflagerzulagen des Balkens V3/1 (4 cm Auflagertiefe der Fertigteilplatte) zu diesem Stadium erst maximal 0,45 ‰ erreicht hatten, kann davon ausgegangen werden, daß diese Auflagergestaltung die geforderte Bruchlast ohne weitere Zusatzmaßnahmen erbringt.

S1 - V4:

Bruch durch Erreichen der Fließgrenze der Platten-Feldbewehrung bei Laststeigerung zu Laststufe 145; d. h. die Laststufe 140 wurde mit einer Standzeit von ca. 10 Minuten ertragen.

Bei dieser Auflagervariante lag die Fertigteilplatte 2 bzw. 4 cm - wie bei Versuch S1/V2 - auf dem Randbalken auf, die relativ kurzen Endauflagerzulagen reichten jedoch aus, das aus der Balkenverdrehung her resultierende Versatzmoment aufzunehmen und so ein vorzeitiges Versagen des Auflagerbereiches zu verbinden. ($e_{\max} \sim 1,0 \text{ ‰}$ bei Balken V4/2!). Damit wird bei dieser Lösung die erforderliche Bruchlast erreicht!

5.2 VERSUCHSSERIE 2 - MITTENAUFLAGER - (Feldbereich)

Bei dieser Versuchsserie trat, im Gegensatz zur Serie 1, kein vorzeitiges Versagen eines Auflagerbereiches auf. Das Versagen erfolgte ausschließlich durch Fließen der oben liegenden Stützbewehrung der Platte über dem Auflagerbalken und der damit einhergehenden Ausbildung eines ausgeprägten Fließgelenkes. Die Versuche mußten dann bei einer Kragarmdurchbiegung von ca. $35 \div 40$ mm abgebrochen werden, da sonst trotz der vor Versuchsbeginn vorgenommenen leichten Voreinstellung der Lastübertragungstraversen nach innen noch immer ein Abkippen dieser Traversen nach außen drohte. Im einzelnen wurden folgende Bruchlasten erreicht:

S2 - V1:

Bruch nach dem Aufbringen der Laststufe 170 (Messung konnte noch erfolgen); die angestrebte Standzeit von 10 Minuten wurde jedoch nicht mehr getragen. Dabei zeigte der Kragarm mit "2 cm" Auflagertiefe der Fertigteilplatte die größeren Enddurchbiegungen, und war somit für den Versuchsabbruch maßgebend.

S2 - V2:

Versagen sofort nach dem Aufbringen der Laststufe 170 (Messung konnte nicht mehr erfolgen). Wie bei Versuch S2 - V1 zeigte der Kragarm mit der Auflagerstufe von "2 cm" der Fertigteilplatte die größeren Enddurchbiegungen und war für den Versuchsabbruch maßgebend.

S2 - V3:

Versagen bei Aufbringen der Laststufe 185 (Laststufe 180 wurde noch mit voller Standzeit ertragen). Bei diesem Versuch konnte kein eindeutiges früheres Versagen einer der beiden Kragplatten beobachtet werden. Anzumerken ist noch, daß bei dieser Belastung auch der Auflagerbalken in Feldmitte bereits einen ausgeprägten klaffenden Riss in

Feldmitte durch fließenden der Feldbewehrung aufwies und somit kurz vor dem Versagen stand. (vgl. auch Rißbild in Anlage 14, Bild 7)

S2 - V4:

Bei diesem Versuch erfolgte, ebenso wie bei S2 - V3 der Bruch beim Aufbringen der Laststufe 185; Laststufe 180 wurde mit voller Standzeit ertragen. Das Versagen wurde durch den Kragarm mit "4 cm" Auflagertiefe der Fertigteilplatte eingeleitet. Auch bei diesem Versuch wies der Auflagerbalken gegen Versuchsende in Feldmitte einen unten verzeigten klaffenden Riß auf.

5.2.1 VERSAGENSMODUS UND BRUCHMOMENTE

Bei allen Versuchen dieser Serie bildete sich ein ausgeprägtes Fließgelenk im Auflagerbereich der Fertigteilplatte auf dem Balkenaufleger aus; vgl. Bild 9. Hierbei öffneten sich nur zwei oder drei Risse, die jedoch bei Versuchsende eine Rißbreite in der Größenordnung von ≥ 3 mm aufwiesen.

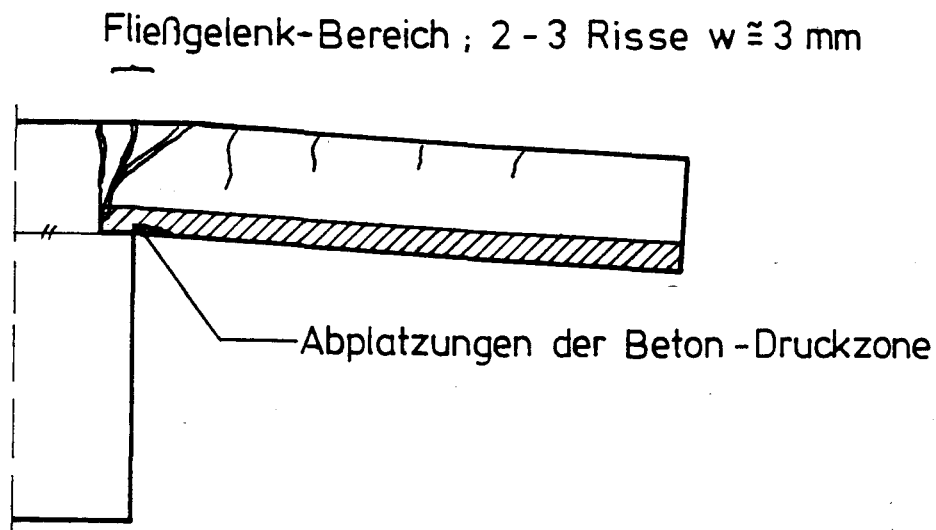


Bild 9: Fließgelenkausbildung im Auflagerbereich

Bei den im Versuch erreichten Laststufen von 170 bzw. 180 kN/Presse ergeben sich dann im Anschnitt die folgenden aufgenommenen Bruchmomente :

$$\left. \begin{array}{l} \text{S2 - V1} \\ \text{S2 - V2} \end{array} \right\} M_u = 0,86 + 0,28 + \frac{170 \cdot 2 \cdot 0,6}{3,2} = 64,9 \text{ kNm/m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{S2 - V3} \\ \text{S2 - V4} \end{array} \right\} M_u = - " - + \frac{180 \cdot 2 \cdot 0,6}{3,2} = 68,6 \text{ ---}$$

Mit dem in Abschnitt 2.2.2 ausgewiesenen und auf die Materialnennfestigkeiten gemäß DIN 1045 bezogenen Gebrauchslastmoment der Platte von 27,4 kNm/m ergibt sich ein Gesamtsicherheitsfaktor von:

$$\begin{aligned} \gamma_{V1,V2} &= 64,9/27,4 = 2,37 \\ \gamma_{V3,V4} &= 68,6/27,4 = 2,50. \end{aligned}$$

Unter Ansatz der zum Versuchszeitpunkt tatsächlich vorhandenen Materialfestigkeiten von

	Beton	Stahl		M_u
V1:	$44 \cdot 0,8 = 35,2 \text{ N/mm}^2$	581 N/mm ²	->	58,3 kNm/m
V2:	$49 \cdot 0,8 = 39,2$	590 N/mm ²	->	58,7 ---
V3:	$53 \cdot 0,8 = 42,4$	589 N/mm ²	->	58,9 ---
V4:	$54 \cdot 0,8 = 43,2$	<u>580 N/mm²</u>	->	58,9 ---
MW = 587 N/mm ²				

ergeben sich die in der Spalte M_u angegebenen theoretisch ermittelten Bruchmomente. Diese sind kleiner als die sich aus den tatsächlich aufgetragenen Belastungen ergebenden. Wird jedoch berücksichtigt, daß sich im Bereich der Betondruckzone ein 2-axialer Spannungszustand mit einer um ca. 1,3-fach höheren aufnehmbaren Betondruckspannung herausbilden kann,

dann ergibt sich, wegen des hier offensichtlich vernachlässigbaren Einflusses der geringen Unterschiede in der Betondruckfestigkeit, ein Bruchmoment von:

$$M_u = 60,1 \text{ kNm/m, (für } \beta_R = 65 \text{ N/mm}^2 \text{)}.$$

Dieses Moment liegt immer noch unter den im Versuch erreichten Werten von 64,9 bzw. 68,6 kNm/m.

Betrachtet man jedoch den Bereich des Fließgelenkes, so bildeten sich kurz vor dem Versuchsabbruch drei bis vier ausgeprägte Risse mit einer Rißweite von $\geq 3 \text{ mm}$; d. h. auf einer Entwicklungslänge von ca. 0,35 m muß die Stahldehnung $\geq 26 \text{ ‰}$ betragen haben. Die Auswertung der Meßschriebe der Stahlfestigkeitsuntersuchung zeigt, daß der verwendete Bewehrungsstahl bei Dehnungen dieser Größenordnung bereits wieder im Festigungsbereich liegt und deshalb die Bruchfestigkeit für die Bemessung maßgebend wird (der Fließbereich des Stahles muß also während des Versuches durchfahren worden sein). Das Verhältnis von Bruchgrenze/Streckgrenze lag bei den hier geprüften Stählen im Bereich von $\approx 1,13$, so daß sich damit ein Bruchmoment von

$$M_u = 1,13 \cdot 60,1 = \underline{67,8 \text{ kNm/m}}$$

ergibt, was den im Versuch erreichten Anschnittsmomenten der Kragplatten entspricht.

5.3 VERSUCHSSERIE 3 - MITTENAUFLAGER - (Stützbereich)

Ebenso wie bei der Versuchsserie 2 versagten die Probekörper dieser Serie durch "Fließen" der oberen Feldbewehrung der Kragplatten. Die Versuche mußten ebenfalls bei Durchbiegungen der Kragplatten von $35 \div 40$ mm abgebrochen werden, da sonst ein Abkippen der Lasttraversen drohte. Der Versagensmodus entspricht dem von Bild 8; es wurden folgende maximal aufbringbare Belastungen erreicht:

S3 - V1:

Die Zwischenmessung bei Laststufe 165 mit einer Standzeit von ca. 3 Minuten, die Laststufe 170 konnte jedoch nicht mehr aufgebracht werden. Kein eindeutiges früheres Versagen eines Auflagerbereiches, jedoch ausgeprägtere Rißbildungen im "4 cm"-Auflagerbereich der Fertigteilplatte.

S3 - V2:

Abbruch bei Laststufe 170; die angesetzte Standzeit wurde nicht erreicht. Das für den Versuchsabbruch maßgebende Fließgelenk bildete sich am "2 cm"-Auflager.

S3 - V3:

Abbruch sofort nach Aufbringen der Laststufe 180 (keine Messung mehr möglich). Bei diesem Versuch bildete sich das für den Versuchsabbruch bestimmende Fließgelenk auf der "4 cm"-Auflagerseite des Fertigteilauflagers aus.

S3 - V4: -> analog S3 - V3

Vergleicht man die erreichten Versuchsbelastungen, so ergeben sich gegenüber den Ergebnissen der Serie 2 keine signifikanten Unterschiede; außer daß evtl. die Versuchsabbrüche ca. eine halbe Laststufe früher erfolgen mußten, was durch die

Querrißbildung in der nunmehr obenliegenden Zugzone im Stützbereich erklärt werden kann.

Auch beim Vergleich der Materialfestigkeiten in Tabelle 3 und 4 ergeben sich annähernd gleiche Werte, so daß auch von dieser Seite her keine signifikanten Unterschiede bei den aufnehmbaren Belastungen zu erwarten sind. Da der Versagensmodus analog dem der Versuchsserie 2 erfolgte, können bezüglich des aufnehmbaren Bruchmomentes und der offensichtlich auch hier anzusetzenden Bruchgrenze des Stahles die Aussagen des Abschnittes 5.2.1 übernommen werden.

6. BEWERTUNG DER ALTERNATIVEN AUFLAGERGESTALTUNGEN

6.1 AUFLAGERAUSBILDUNG V2-FERTIGTEILPLATTE MIT GLATTER STIRN- FLÄCHE; KEINE WEITEREN BEWEHRUNGSZULAGEN

Wie bereits in Abschnitt 5.1 dargelegt, erfolgte bei dieser Auflagerungsart bei der Versuchsserie S1 (Endauflager mit 2 cm Auflagertiefe) ein frühzeitiges, schlagartiges Versagen am "kurzen" Auflager, hauptsächlich induziert durch die nicht verhinderte Verdrehung des Ranbalkens.

Das Versagen des gegenüberliegenden "langen" Auflagers mit 4 cm Auflagertiefe erfolgte zwar bei ca. 1,9-facher Gebrauchslast, da auch dieses Versagen schlagartig, d. h. ohne Vorankündigung erfolgte, müßte hier gemäß. DIN 1045 eine 2,1-fache Sicherheit gefordert werden, so daß eine derartige Auflagerausbildung bei Randbalken ohne Verdrehungsbehinderung nicht toleriert werden kann. Es muß jedoch bemerkt werden, daß bei Verhinderung der Randbalkenverdrehung auch diese Auflagerausbildung die für diesen Fall zu fordernde Gesamtsicherheit von 2,1 aller Voraussicht nach erreicht hätte.

Da diese Verdrehungsbehinderung jedoch nicht generell angenommen werden kann und, wie die Versuche zeigen, dann mit einem schlagartigen Versagen des Auflagerbereiches zu rechnen ist, müssen bei Endauflagern weitergehende Maßnahmen zur Auflagersicherung getroffen werden.

Bei den Mittenauflagern der Serie S2 und S3 wurde kein frühzeitiges Versagen, bedingt durch die Auflagerausbildung mit glatter Stirnfläche, beobachtet. Da bei den Auflagerausbildungen mit nur 2 cm Auflagertiefe (d. h. die Fertigteilplatte liegt nur auf der Betondeckung der Bügel des Balkens auf) durch Betonabplatzungen auch ein schlagartiges Auflagerversagen nicht ausgeschlossen werden kann, sollte eine Lösung mit nur 2 cm Auflagertiefe der Fertigteilplatte nicht in Betracht gezogen werden. Die durchgeführten Versuche zeigen jedoch, mit welchen Traglasten auch bei einer Auflagertiefe von nur 2 cm noch zu rechnen ist. Dieser Hinweis erscheint in

Hinblick auf die selbst bei einer entsprechend sorgfältigen Fertigung mit planmäßigen Auflagertiefen von 4 cm meist unvermeidlichen Bautoleranzen notwendig.

Einer Auflagerausbildung mit 4 cm Auflagertiefe und zusätzlich vorhandener konsolbartiger Bewehrung des Auflagerbereiches im Balken stehen, aus der Sicht der hier erzielten Versuchsergebnisse, keine grundsätzlichen Bedenken entgegen.

6.2 AUFLAGERGESTALTUNG V3 - "KONSOLLÖSUNG"

Zur Beurteilung der Wirksamkeit der angeordneten Bewehrungszulagen bei dieser Auflagerungsvariante soll von den folgenden, auch in der Bemessung verwendeten, Modellvorstellungen ausgegangen werden:

Vertikale Bewehrung:

$$\begin{aligned} \text{erf } a_{s,V} &= \frac{a \cdot V}{4 \cdot \sigma_s \cdot \sin 51,6^\circ} = \frac{0,2 \cdot V}{4 \cdot \sigma_s \cdot \sin 51,6^\circ} = \\ &= 0,0634 \, V / \sigma_s \, [\text{cm}^2/\text{Diagonale}] \end{aligned}$$

Horizontale Bewehrung:

$$\text{erf } a_{s,H} = \frac{(0,2/3 + 0,06) \cdot V}{0,07 \cdot \sigma_s} = 1,81 \cdot V / \sigma_s \, [\text{cm}^2/\text{m}]$$

Mit $V = \text{Laststufe}/1,6$ [kN/m] und $a = 0,2$ m dem Abstand eines Diagonalenpaares der Filigranträger.

Werden die vorhandenen Bewehrungsquerschnitte in die o. a. Bemessungsansätze eingesetzt ($a_{s,V} = 0,182 \text{ cm}^2$ bei einem Ist-Durchmesser der Diagonalen von 0,481 cm; $a_{s,H} = 3.35 \text{ cm}^2/\text{m}$), dann ergeben sich in Abhängigkeit von der jeweiligen Laststufe die folgenden theoretischen Stahldehnungen:

Vertikal: (Diagonalen der Fi-Träger als Aufhängebewehrung)

$$\epsilon_{s,V} = 0,01043 \cdot \text{Laststufe} \quad [^{\circ}/\text{oo}] \quad \text{oder}$$

$$\epsilon_{s,V} = 10,16 \cdot \text{Laststufe} \quad [\mu\epsilon]$$

und

Horizontal: (Auflagerzulagen)

$$\epsilon_{s,H} = 0,01608 \cdot \text{Laststufe} \quad [^{\circ}/\text{oo}] \quad \text{oder}$$

$$\epsilon_{s,H} = 16,08 \cdot \text{Laststufe} \quad [\mu\epsilon].$$

Die Geraden dieser theoretischen Stahldehnungsverläufe sind in die entsprechenden Diagramme der gemessenen Dehnungen in Anlage 15 eingezeichnet.

Wie aus dem Vergleich dieser nach den theoretischen Ansätzen ermittelten Stahldehnungen und den gemessenen Werten zu ersehen ist zeigt sich, daß

a) bei den als "Aufhängebewehrung" quer eingebauten Gitterträgern kein signifikantes Anwachsen der Stahldehnungen mit fortschreitender Belastung beobachtet werden konnte. Vielmehr fällt der gemessene Dehnungsverlauf extrem uneinheitlich aus, was auf die sehr kurze Eintragungslänge in die Diagonalen der Gitterträger, die Anordnung dieser Gitterträger im Übertragungsbereich der Druckstrebe auf das Auflager hin, sowie die eintretende Rißbildung in diesem Bereich zurückzuführen ist.

b) bei der horizontal angeordneten Konsolbewehrung zeigt sich ein etwas uneinheitlicheres Bild. Bei Versuch S1-V3 treten bis zur Gebrauchslast praktisch keine Stahldehnungen auf. Gegen Versuchsende stellt sich auf der Plattenseite mit 4 cm Auflagertiefe (DMS 49-52) eine maximale Stahldehnung von 0,45 ‰ ein; d.h. auch diese Bewehrung bleibt praktisch wirkungslos. Auf der

gegenüberliegenden Plattenseite (stumpfes Ende der Fertigteilplatte, DMS 53-56) werden jedoch Dehnungen von ca. $2 \div 3 \text{ ‰}$ erreicht. Diese relativ hohen Dehnungen erklären sich jedoch aus der Aufnahme des aus der Auflagerbalkenverdrehung resultierenden Versatzmomentes in Plattenanschnitt durch diese, für eine derartige Zusatzbeanspruchung nicht bemessene, horizontal liegende Bewehrung; vgl. auch Abschnitt 5.1.

Bei den Versuchen S2-V3 und S3-V3 wurde die eintretende Rißbildung im Auflagerbereich bei Laststufe 30 \div 40 beobachtet. Der bei dieser Laststufe einsetzende leichte lineare Dehnungsanstieg der horizontal liegenden Bewehrung erfolgt proportional mit der beginnenden Plattenverdrehung. Wie jedoch das plötzliche Anwachsen der Dehnungen mit der Ausbildung des Fließgelenkes gegen Versuchsende zeigt, resultieren diese Dehnungen aus der Biegebeanspruchung der mit der Plattendurchbiegung einhergehenden Verbiegung der Bewehrungsstäbe. Die Dehnmeßstreifen waren, analog zu den Versuchen V1, oben auf den Zulagestäben angeordnet.

Auf grund der gemachten Versuchsbeobachtungen erscheint die angestrebte Wirksamkeit der Konsollösung zweifelhaft, da eine nenneswerte Aktivierung der Zulagebewehrung nicht erfolgte. Bei den Versuchen S2-V3 und S3-V3 lag der als Aufhängebewehrung eingebaute Gitterträger im Rißbereich des plastischen Gelenkes und blieb wirkungslos. Die gemessenen hohen Stahldehnungen der Horizontalbewehrung gegen Versuchsende resultieren bei diesen Versuchen größtenteils aus der mit der Fließgelenkausbildung einhergehenden Biegebeanspruchung der Bewehrungsstäbe oder aber aus der Aufnahme eines Versatzmomentes. Damit ergeben sich aus dieser alternativen Auflagerbewehrung keine signifikanten Traglasterhöhungen; es kann sogar soweit gegangen werden, daß der quer angeordnete Gitterträger im Übertragungsbereich der Druckdiagonale auf das Auflager bei den Versuchen S2-V3 und S3-V3 eher störend wirkt, da sich der erste Riß stets über dem Obergurt dieses Trägers einstellte.

6.3 Auflagergestaltung V4 - "Untere Zulage"

Die bei dieser Versuchsserie auf der Fertigteilplatte zugelegte Bewehrung sollte die nach DIN 1045 erforderliche Verankerungslänge der unten liegenden und in der Fertigteilplatte stumpf endenden Feldbewehrung ersetzen. Wie aus den Diagrammen der gemessenen Stahldehnungen der Endverankerungen der "Null-Versuche" der Versuchsserie V1 ersichtlich, wurden bei der DIN gemäßen Verankerung der Feldbewehrung S1-V1 nur geringe Dehnungen von ca. 0,2 ‰ gemessen. Auch bei den Null-Versuchen S2-V1 und S3-V1 bleiben die Dehnungen zunächst sehr gering, bis sich, einhergehend mit der Ausbildung eines plastischen Gelenkes längs der Auflagerkante, kurz vor dem Erreichen der Traglast durch das Abbiegen der Bewehrungsstäbe ein rapider Dehnungszuwachs einstellt. Dieser Zusammenhang ist beispielhaft in Bild 10 dargestellt.

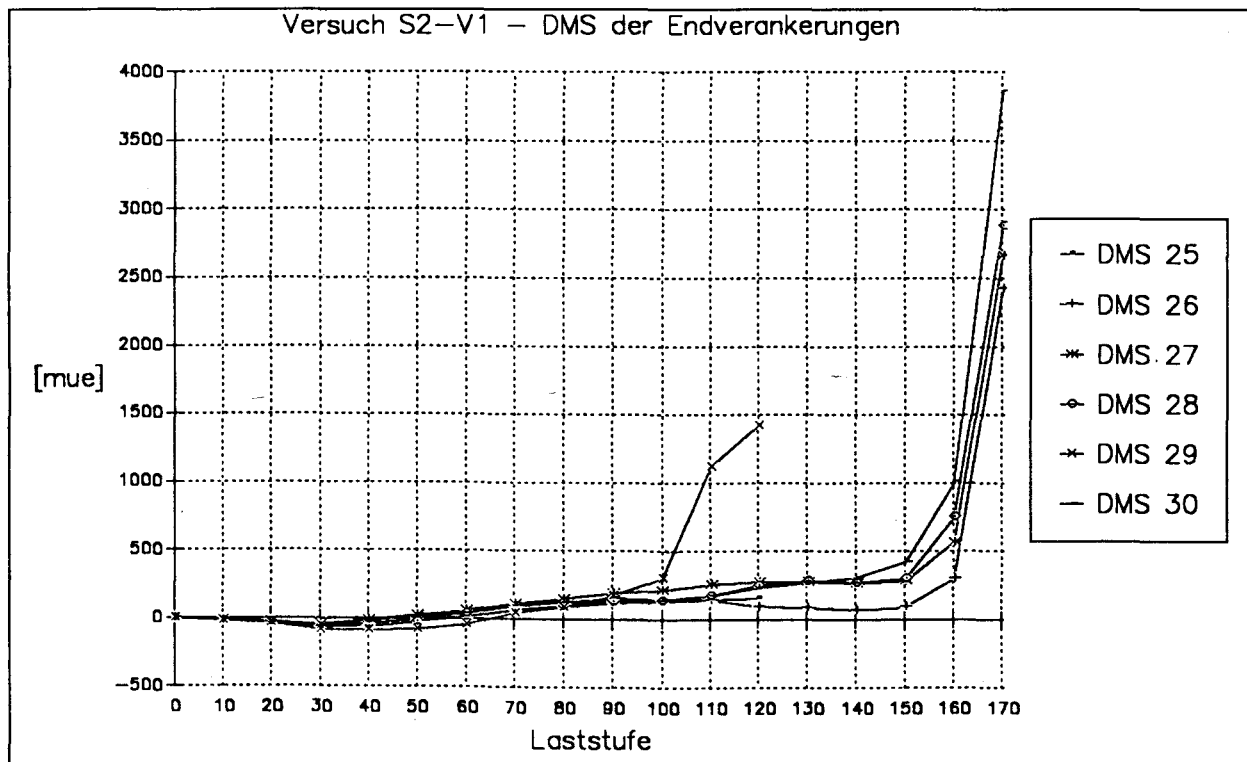


Bild 10: Versuch S2-V1 - Dehnungszuwachs in der Verankerung der Feldbewehrung durch das Abbiegen der Bewehrungsstäbe am Versuchsende

Ein ähnliches Verhalten läßt sich auch bei den gemessenen Dehnungen der Versuche S2-V4 und S3-V4 feststellen, so daß sich gegenüber den Ergebnissen des "Null-Versuches" keine prinzipiellen Veränderungen ergeben. Da jedoch im Vergleich zu den Versuchen S2-V2, S3-V2 und den "Null-Versuchen" durch die Anordnung dieser Zusatzbewehrung keine signifikante Verbesserung des Tragverhaltens im Auflagerbereich erreicht wurde, erscheint die Zulagebewehrung aus der Sicht der vorliegenden Versuchsergebnisse, zumindest bei der Versuchsserie S2 und S3, nicht notwendig.

Ein signifikanter Unterschied gegenüber dem frühzeitigen Versagen des Versuches S1-V2 (glattes Ende der Fertigteilplatte, 2 cm Auflagertiefe, keine Zulagebewehrung) ergab sich jedoch bei Versuch S1-V4. Die im Auflagerbereich zugelegte Bewehrung war, trotz der geringen Verankerungslänge, in der Lage das aus der Verdrehung des Auflagerbalkens resultierende Versatzmoment im Plattenanschnitt aufzunehmen. Die in diesem Bereich gemessenen Stahldehnungen betrugen ca. 1 ‰ (S1-V4, DMS 53-56). Damit hat sich gezeigt, daß mit der Anordnung einer rißübergreifenden Bewehrung im Auflagerbereich und damit der Aufnahme des Versatzmomentes, wie auch schon bei der schwächer dimensionierten Bewehrung des Versuches S1-V3, ein frühzeitiges Versagen auch bei Endauflagern ohne Verdrehungsbehinderung vermieden werden kann.

7. Beanspruchung der Verbundbewehrung

Zusätzlich zur eigentlichen Untersuchung des Tragverhaltens der unterschiedlichen Auflagerausbildungen wurde die Beanspruchung der Verbundbewehrung in den Auflagerbalken (Bügel) und den Platten (Filigranträger) ermittelt. Die Anordnung der Dehnmeßstreifen auf den Bügeln und den Filigranträgern ist, wie schon gesagt, in den Bewehrungszeichnungen der Anlage 1 - 12 angegeben.

Analog zur theoretischen Ermittlung der Dehnungsverläufe der Bewehrung der "Konsollösung" nach Abschnitt 6.2, sollen in den folgenden Abschnitten auch für die Balken- und Plattenverbundbewehrung die theoretischen Dehnungsverläufe dieser Bewehrungen ermittelt werden.

7.1 Beanspruchung der Balken-Verbundbewehrung

7.1.1 Versuch Serie S1

Mit der in Abschnitt 2 angegebenen Versuchskörpergeometrie und Belastung ergeben sich für die Bügelbeanspruchungen dieser Versuchsserie die folgenden Zusammenhänge:

Bemessungsquerkraft:

$$Q' = LST + 0,514 \cdot LST - 0,28 \cdot LST / 1,6 \quad [\text{kN}]$$

$$Q' = LST \cdot 1,339 \quad \text{mit } LST = \text{Laststufe in } [\text{kN}].$$

Theoretische Beanspruchung der Verbundbügel:

$$\sigma_{\text{Bü}} = \frac{Q' \cdot a}{a_{s,\tau} \cdot z} = \frac{LST \cdot 1,339 \cdot 0,1}{1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,342} = LST \cdot 3915 \quad [\text{kN/m}^2]$$

mit $a = 0,1 \text{ m}$, $z = 0,342 \text{ m}$

und $a_{s,\tau} = 208 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

Theoretische Stahldehnung:

$$\epsilon_{Bü} = LST \cdot 3915 \cdot 1 \cdot 10^6 / 2 \cdot 1 \cdot 10^8 = \underline{18,64 \cdot LST} \quad [\mu\epsilon]$$

7.1.2 Versuche Serie S2

Bemessungsquerkraft:

$$Q' = \frac{LST \cdot 4 \cdot 3}{3,2 \cdot 2} - \frac{0,3 \cdot LST \cdot 4}{3,2} = LST \cdot 1,5 \quad [\text{kN}]$$

Theoretische Beanspruchung der Verbundbügel:

$$\sigma_{Bü} = \frac{LST \cdot 1,5 \cdot a}{a_{S,\tau} \cdot z} = \frac{LST \cdot 1,5 \cdot 0,1}{1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,414} = LST \cdot 3623 \quad [\text{kN/m}^2]$$

mit $a = 0,1 \text{ m}$, $z = 0,414 \text{ m}$

und $a_{S,\tau} = 2 \varnothing 8 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Theoretische Stahldehnung:

$$\epsilon_{Bü} = LST \cdot 3623 \cdot 1 \cdot 10^6 / 2 \cdot 1 \cdot 10^8 = \underline{LST \cdot 17,25} \quad [\mu\epsilon]$$

7.1.3 Versuche Serie S3

Bemessungsquerkraft:

$$Q' = \frac{LST \cdot 4 \cdot 1,6}{3,2} + 0,857 \cdot LST - \frac{0,33 \cdot LST \cdot 4}{3,2} =$$

$$Q' = LST \cdot 2,4445 \quad [\text{kN}]$$

Theoretische Beanspruchung der Verbundbügel:

$$\sigma_{\text{Bü}} = \frac{\text{LST} \cdot 2.4445 \cdot a}{a_{\text{S},\tau} \cdot z} = \frac{\text{LST} \cdot 2,4445 \cdot 0,09}{1,57 \cdot 10^{-4} \cdot 0,382} = \text{LST} \cdot 3668 \quad [\text{kN/m}^2]$$

mit $a = 0,09 \text{ m}$, $z = 0,382 \text{ m}$
und $a_{\text{S},\tau} = 2 \cdot \emptyset 10 = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$.

Theoretische Stahldehnung:

$$\epsilon_{\text{Bü}} = \text{LST} \cdot 3668 \cdot 1 \cdot 10^6 / 2,1 \cdot 10^8 = \underline{17,46 \cdot \text{LST}} \quad [\mu\text{e}]$$

Diese so theoretisch ermittelten Bügel-Dehnungsverläufe der Versuchsreihen S1, S2 und S3 sind in die entsprechenden Diagramme der gemessenen Bügeldehnungen in Anlage 15 eingearbeitet.

7.2 Beanspruchung der Platten-Verbundbewehrung

Die Beanspruchung der Platten-Verbundbewehrung kann, da die Randquerkraft der Platte bei allen Versuchen faktisch gleich war, für alle drei Versuchsserien zusammengefaßt ermittelt werden. Mit den der Plattenbemessung zu grunde gelegten Belastungen und Abmessungen ergibt sich:

Bemessungsquerkraft:

$$q' = \text{LST} \cdot 2 / 3,2 = \text{LST} / 1,6 \quad [\text{kN/m}]$$

Theoretische Beanspruchung der Verbundbewehrung:

$$\sigma_{\text{Diag.}} = \frac{\text{LST}}{1,6 \cdot z \cdot a_{\text{S},\tau}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \cos \delta} \cdot \frac{a \cdot e}{2}$$

$$\sigma_{\text{Diag.}} = \text{LST} \cdot 3556,9 \quad [\text{kN/m}^2]$$

mit $z = 0,11 \text{ m}$
 $a = 0,16 \text{ m}$

$$e = 0,20 \text{ m}$$

$$a_{s,\tau} = 0,182 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \quad (\text{Istdurchmesser der Filigranträger-Diagonalen}).$$

Theoretische Dehnung der Verbundbewehrung:

$$\epsilon_{\text{Diag.}} = \text{LST} \cdot 3556,9 \cdot 1 \cdot 10^6 / 2 \cdot 1 \cdot 10^8 = \underline{17 \cdot \text{LST}} \quad [\mu\epsilon]$$

Auch dieser theoretisch ermittelte Dehnungsverlauf ist in die entsprechenden Diagramme der gemessenen Dehnungen der Gitterträgerdiagonalen in Anlage 15 eingearbeitet.

7.3 Diskussion der Ergebnisse

In den Bildern 11 und 12 auf Seite 50 sind beispielhaft für die durchgeführten Versuche die gemessenen Dehnungsverläufe der Bügel und der Gitterträgerdiagonalen in Abhängigkeit von der Laststufe/höhe angegeben.

Wie aus Bild 11 zu ersehen zeigt sich, daß eine Beanspruchung der Bügel in der Verbundfuge ab der Laststufe 80 stattfindet. Bis zu dieser Laststufe erfolgt die Eintragung der Schubkräfte in den Druck- bzw. Zuggurt allein durch den Betonquerschnitt, d. h. die Reibung in der Verbundfuge ist zur Übertragung dieser Kräfte ausreichend. Erst bei höheren Lasten bildet sich das der Bemessung zu Grunde gelegte Fachwerk aus Betondruckdiagonalen und vertikalen Zugpfosten (Bügel) aus. In dieses Bild ist außerdem der theoretische Dehnungsverlauf eines Fachwerkes mit 45° Neigung der Betondruckstreben dargestellt. Es zeigt sich, daß die Bügeldehnungen wesentlich geringer als die theoretisch ermittelten sind. Dieser Umstand ist darauf zurückzuführen, daß die effektive Neigung der Druckstreben meist kleiner als 45° ist und außerdem noch sekundäre Effekte wie Dübelwirkung, Rißverzahnung, Reibung in der Verbundfuge etc. das Schub/Verbundtragverhalten beeinflussen, welche für den vorliegenden Bemessungsfall nach DIN 1045 durch den Ansatz einer verminderten Schubdeckung jedoch nicht berücksichtigt werden dürfen.

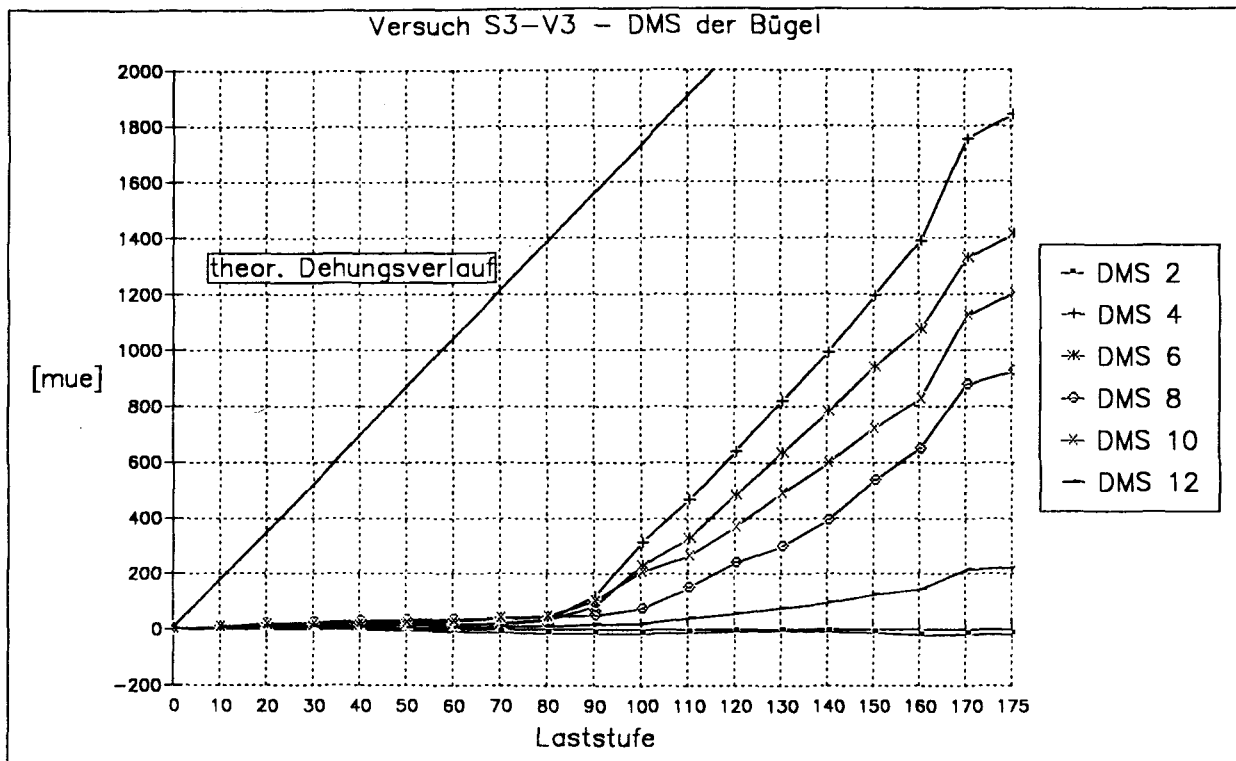


Bild 11: Versuch S3-V3 - Dehnungsverlauf der Verbundbügel

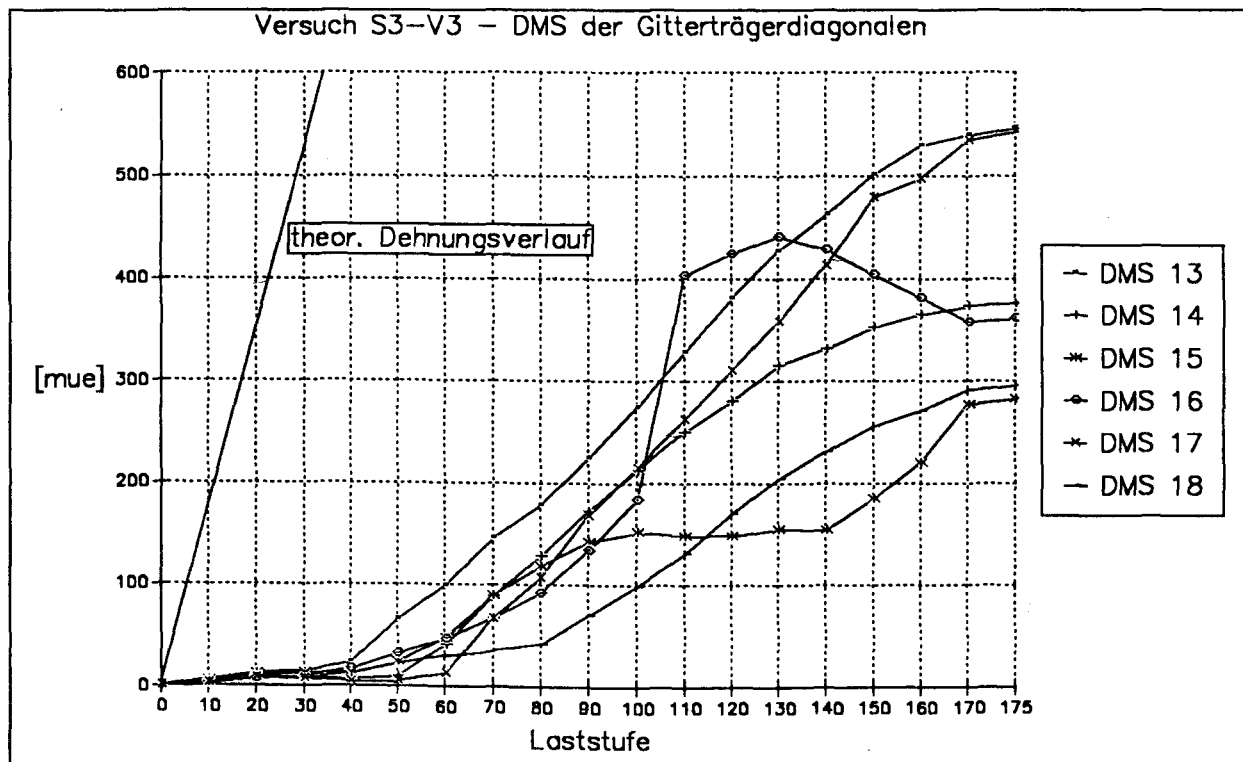


Bild 12: Versuch S3-V3 - Dehnungsverlauf der Plattenverbundbewehrung

Auch bei der Beanspruchung der Gitterträgerdiagonalen (vgl. Bild 12 Seite 50) stellt sich ein ähnliches Verhalten dar. Die Diagonalen werden zwar schon bei einer geringeren Laststufe beansprucht, von der Gesamtbeanspruchung her gesehen werden diese Diagonalen jedoch in keinem Fall mit den zulässigen Werten ausgenutzt. In wie weit sich dieses Verhalten bei wiederholter, d.h. nicht ruhender Belastung evtl. ändert (hin zu einer höheren Diagonalenausnutzung), müßte durch weitere Versuche geklärt werden.

8 Zusammenfassung

Die zur Klärung des Auflagertragverhaltens von vorgefertigten Stahlbetonplatten mit statisch mitwirkender Ortbetonschicht auf Stahlbetonunterstützungen (Rand- und Mittenaufleger) mit unterschiedlichen alternativen Auflagerausbildungen durchgeführten Versuche haben gezeigt, daß von der nach DIN 1045 vorgeschriebenen Auflagerausbildung durchaus abweichende, einfachere Lösungen möglich sind. Die in den Versuchen gewonnenen Ergebnisse lassen sich zu den folgenden Aussagen zusammen fassen:

a) Endauflager:

Bedingt durch die im Versuch mögliche Verdrehung des Randbalkens trat am Plattenanschnitt ein Versatzmoment auf, welches durch eine entsprechend dimensionierte Bewehrung aufzunehmen ist. Ist die Aufnahme dieses Versatzmomentes durch eine Zulagebewehrung analog V3 oder V4 sichergestellt, dann treten bei Platten mit einer Auflagertiefe von 4 cm auf dem unterstützenden Balken keine Traglastminderungen auf. Wird die Balkenverdrehung durch konstruktive Maßnahmen oder bedingt durch die Einbaubedingungen verhindert, dann ist die Auflagertiefe von 4 cm auf dem Randbalken ohne weitere Zusatzmaßnahmen ausreichend. Voraussetzung ist jedoch, daß das Randbalkenaufleger konsolartig bewehrt wird.

Eine geringere Auflagertiefe als 4 cm sollte wegen der Möglichkeit eines plötzlichen Versagens der Betonüberdeckung nicht zugelassen werden, evtl. ist der Balken nach oben hin voutenförmig zu verbreitern.

Weitere traglaststeigernde Wirkungen der alternativen Auflagerausbildungen konnten, insbesondere bei der "Konsollösung" nicht festgestellt werden.

b) Mittenaufleger

Bei den durchgeführten Versuchen, sowohl im Feld-, als auch im Stützmomentenbereich eines Balkens, erbrachten die alternativen Auflagerausbildungen, insbesondere der Versuchsserie V3 und V4 keine Traglasterhöhung. Ein einfaches Plattenauflager mit 4 bzw. 2 cm Auflagertiefe, ohne jede Zulagebewehrung, zeigte ein absolut gleichwertiges Tragverhalten. Da auch hier die Möglichkeit eines plötzlichen Versagens bei Auflagerung nur auf der Betonüberdeckung nicht ausgeschlossen werden kann, sollte die Auflagerung nur auf einem 4 cm tiefen konsolartig bewehrten, werksmäßig glatt abgezogenen Betonaufleger erfolgen.

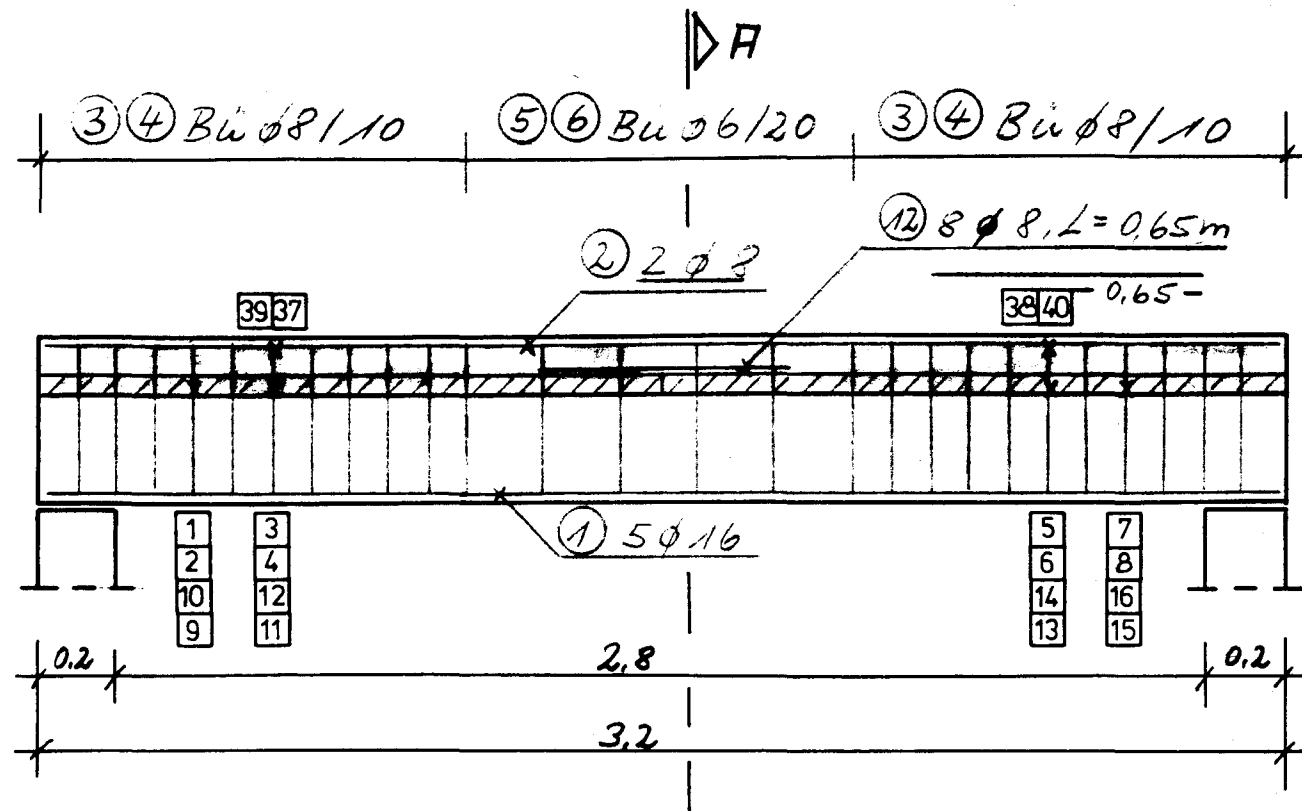
Um den mit den vorliegenden Versuchen abgesteckten Bereich nicht zu verlassen, wird empfohlen, die folgenden konstruktiven und belastungsmäßigen Randbedingungen einzuhalten:

- 1) Randbalken Beton B35
- 2) Fertigteilplatte B35 (Bedingung 1) und 2) da der Versuchskörperbeton, trotz geringerer Anforderungen in diese Festigkeitsklasse einzuordnen war.)
- 3) Aufbeton B25
- 4) Maximale Schubspannung in der Balken-Verbundfuge $< \tau_{02}$
- 5) Maximale Schubspannung in der Platten-Verbundfuge $< \tau_{011}$
- 6) 4 cm Plattenauflager, konsolartig bewehrt und werksmäßig glatt abgezogen.
- 7) Endverdrehung bei Randbalken ist zu verhindern, andernfalls ist eine entsprechende Bewehrung zur Aufnahme des Versatzmomentes anzuordnen.

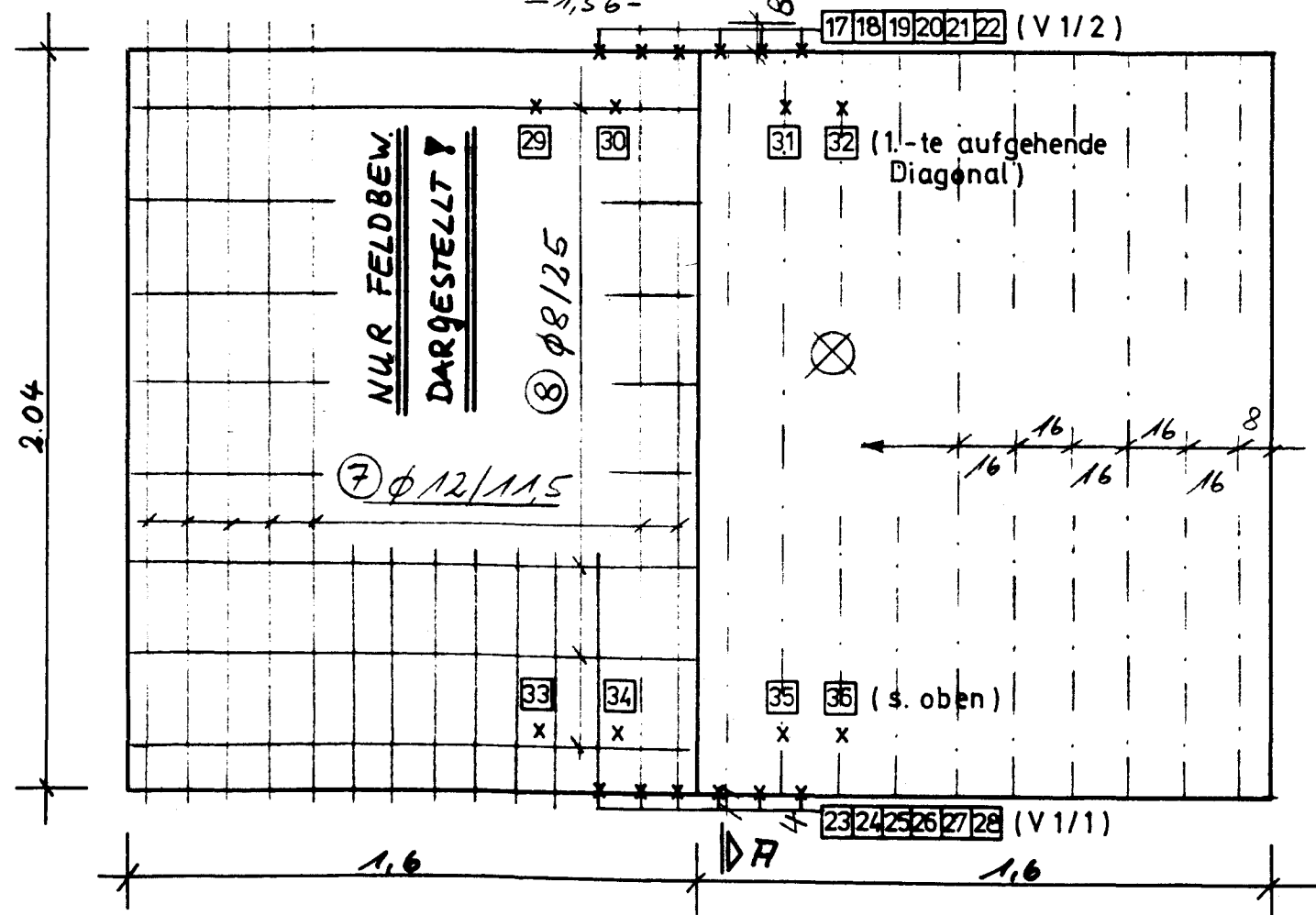
Da Versuche über den Einfluß einer nicht ruhenden Belastung auf eine derartige Auflagerausbildung noch nicht durchgeführt wurden, kann die Übertragung der gewonnenen Ergebnisse für diesen Fall nicht erfolgen.

Anlagen 1 – 12

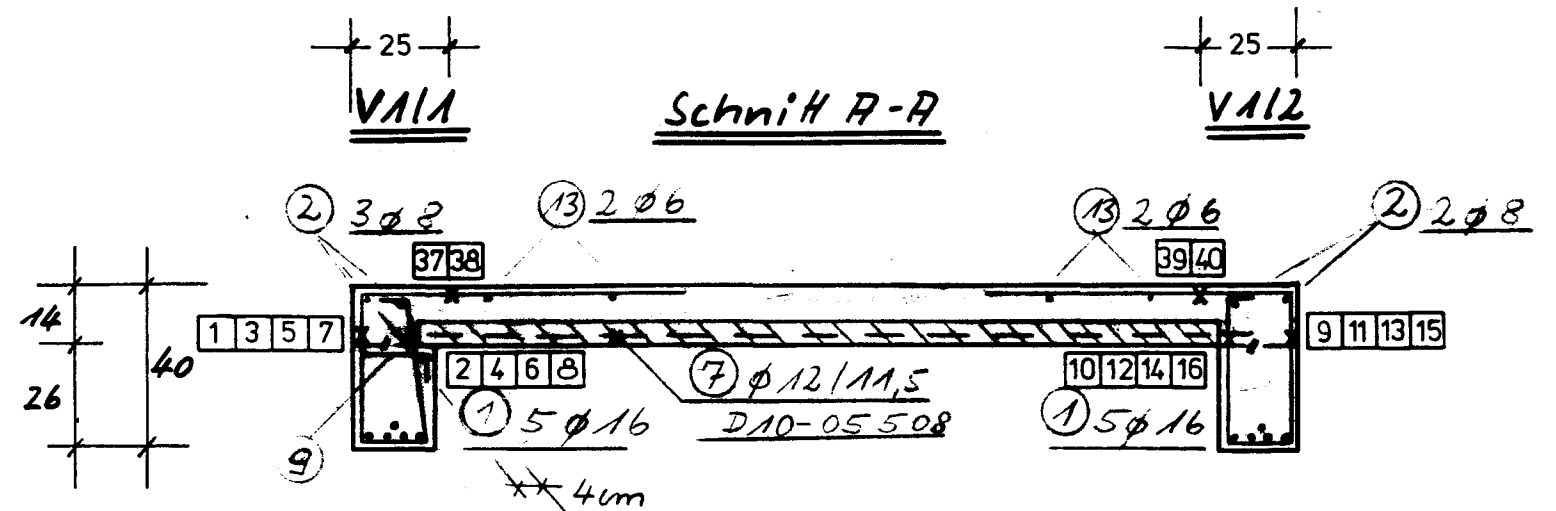
(Bewehrungszeichnungen der Versuchskörper und
Anordnung der Dehnungsmeßstreifen)



- ① 2x5=10 8/16; L=3.16m ② 2+3=5 8/8; L=3.16m
- ⑧ 2x8=16 8/8, a=25; L=1.56m ⑬ 4 6/6; L=3.16m



- ⑦ 2x14=28 8/12; a=11.5; L=2.16
- ⑩ 6x D 10-05 5 08; L=2.16m
- ⑪ 4x7=28 D 10-05 5 08; L=0.8m



- ③ 2x11=22 8/8; a=10; L=1.76 ④ 2x11=22 8/8; a=10; L=1.76
- ⑤ 4 6/6; a=20; L=1.74 ⑥ 4 6/6; a=20; L=1.74

- ⑨ 16 6/6, a=20, L=2.50m

BETONÜBERDECKUNG:
BALKEN: 2.0cm

PLATTE: 1.5cm

☒ = DMS-Nr.

☒ NUR FILIGRAN-
TRÄGER DARGE-
STELLT. LINKE
SEITE SPIEGEL-
BILDLICH AUS-
FÜHREN?

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE,
MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

VERSUCHSTRÄGER

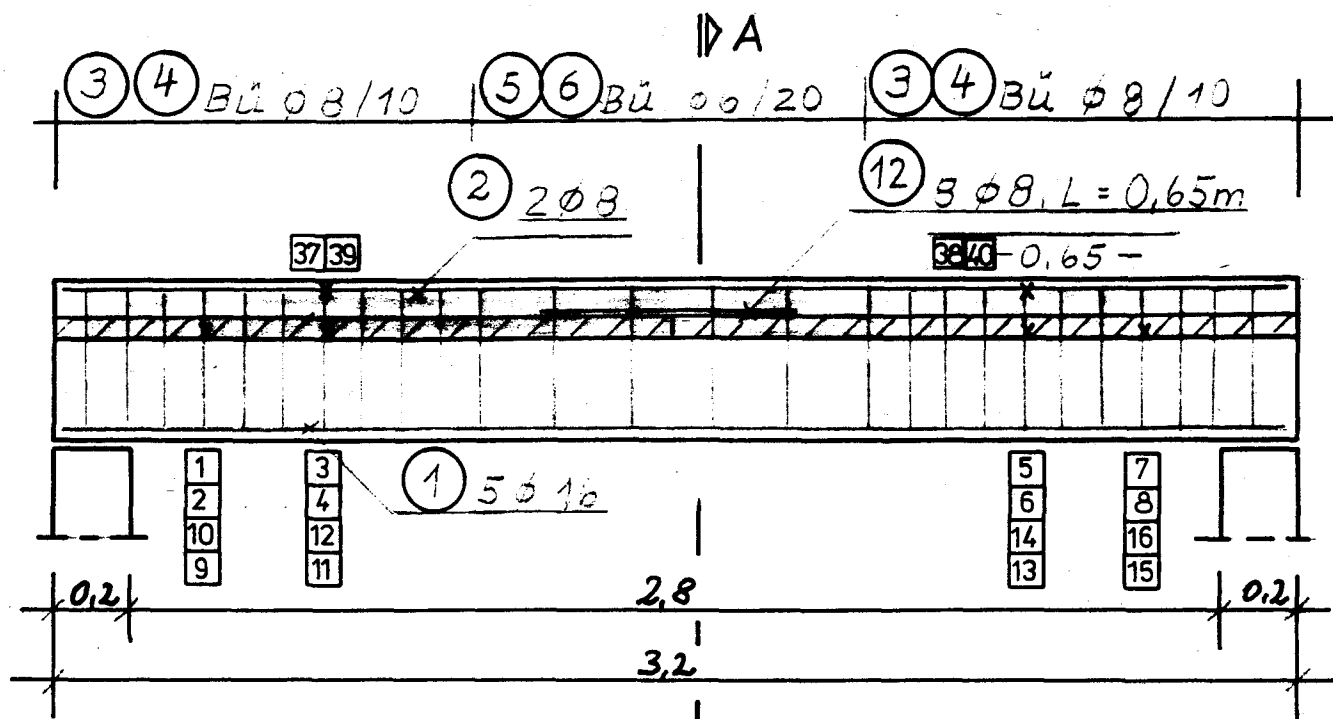
M-1:20

V111 UND V112

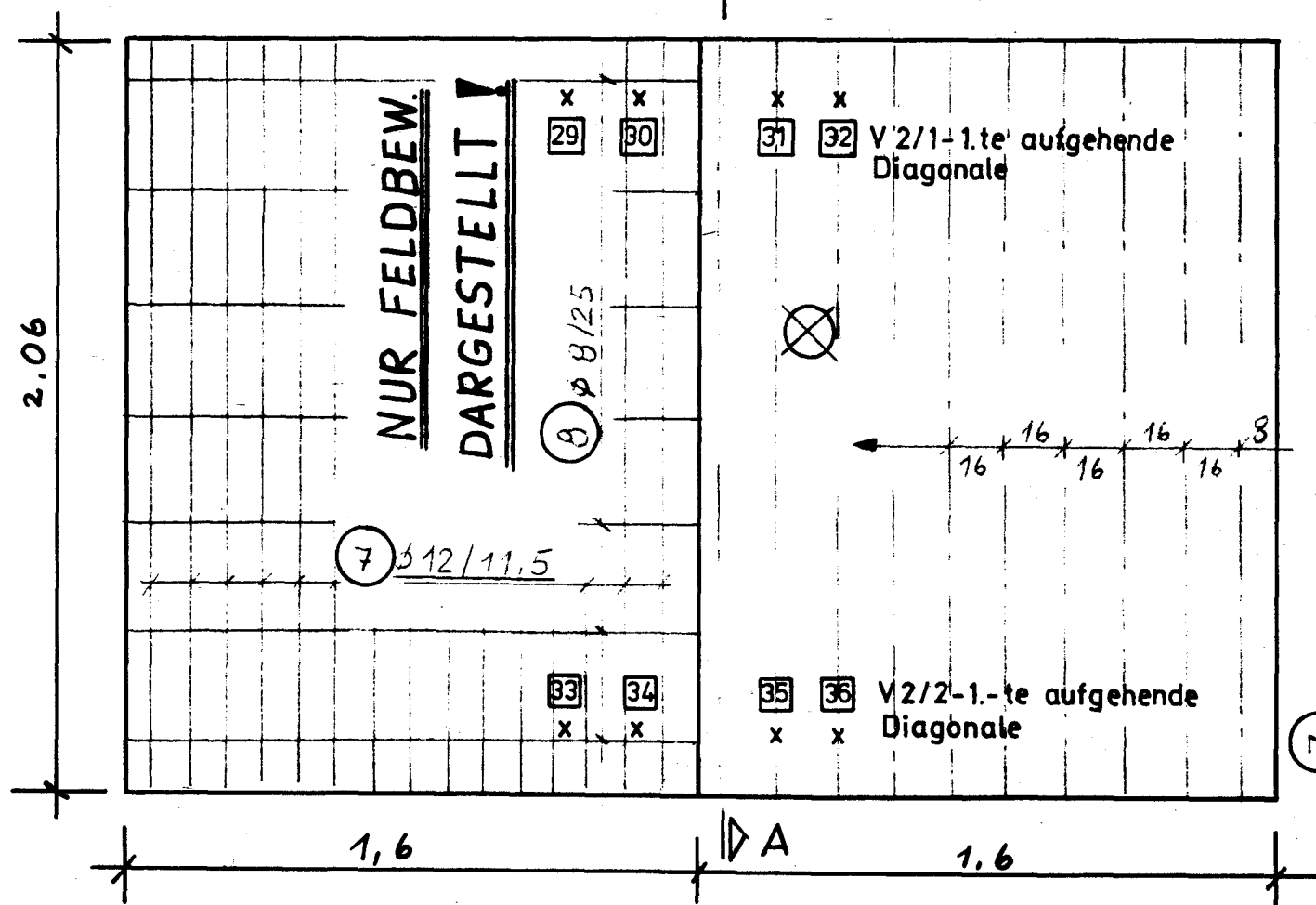
BLATT-1

BETON B25

BETONSTAHL Bst 500S

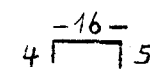


- ① $2 \times 5 = 10 \text{ Ø } 16$; $L = 3.16 \text{m}$
 ② $2 + 3 = 5 \text{ Ø } 8$; $L = 3.16 \text{m}$
 ⑧ $2 \times 8 = 16 \text{ Ø } 8$, $a = 25$; $L = 1.56 \text{m}$
 ⑬ $4 \text{ Ø } 6$; $L = 3.16 \text{m}$



- ⑦ $2 \times 14 = 28 \text{ Ø } 12$; $a = 11.5$; $L = 2.05 \text{m}$
 ⑩ $6 \times D 10-05508$; $L = 2.05 \text{m}$
 ⑪ $4 \times 7 = 28 \text{ D } 10-05508$; $L = 0.8 \text{m}$

- ③ $2 \times 11 = 22 \text{ Ø } 8$; $a = 10$; $L = 1.76 \text{m}$
 ④ $2 \times 11 = 22 \text{ Ø } 8$; $a = 10$; $L = 1.75 \text{m}$
 ⑤ $4 \text{ Ø } 6$; $a = 20$; $L = 1.74 \text{m}$
 ⑥ $4 \text{ Ø } 6$; $a = 20$; $L = 1.74 \text{m}$



- ⑨ $16 \text{ Ø } 6$; $a = 20$; $L = 0.25 \text{m}$

⊗ NUR FILIGRAN-
TRÄGER DARGE-
STELLT. LINKE
SEITE SPIEGELBILD-
LICH AUSFÜHREN?

□ = DMS-Nr. PLATE : 1,5um

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE,
MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ

VERSUCHSTRÄGER

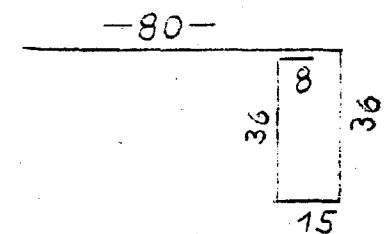
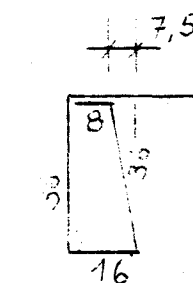
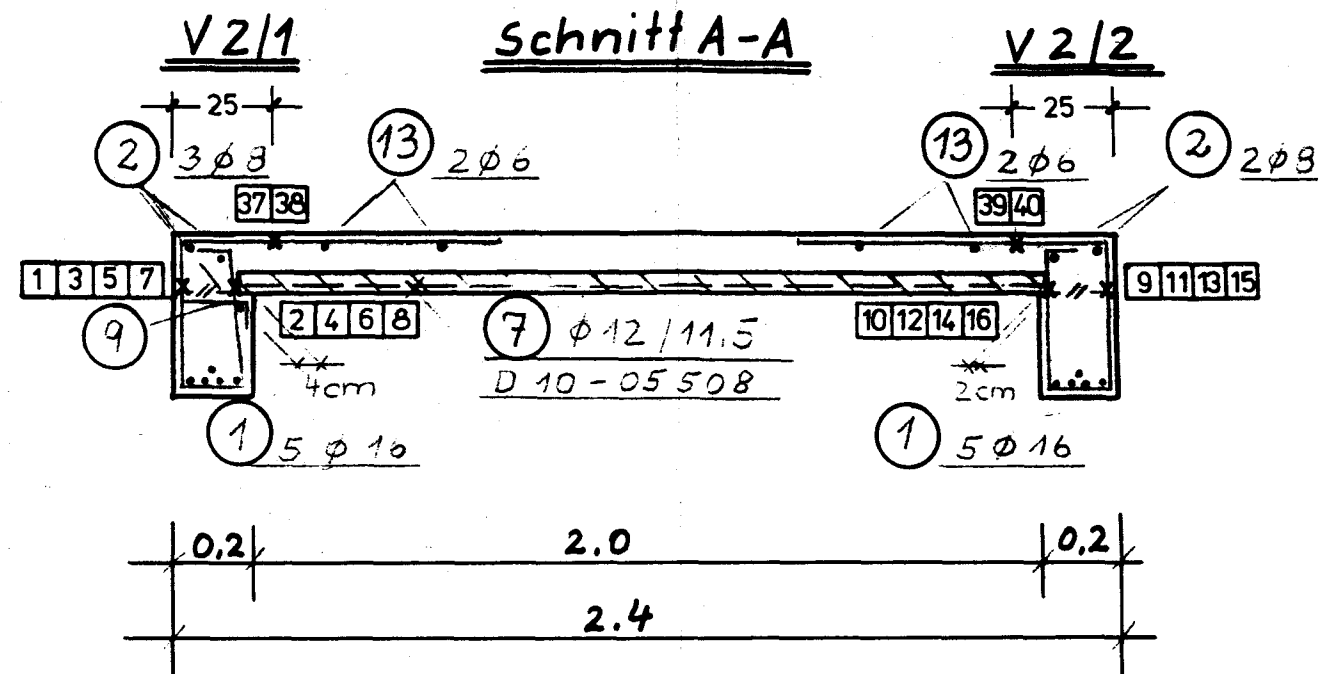
M-1:20

V2/1 UND V2/2

BLATT 2

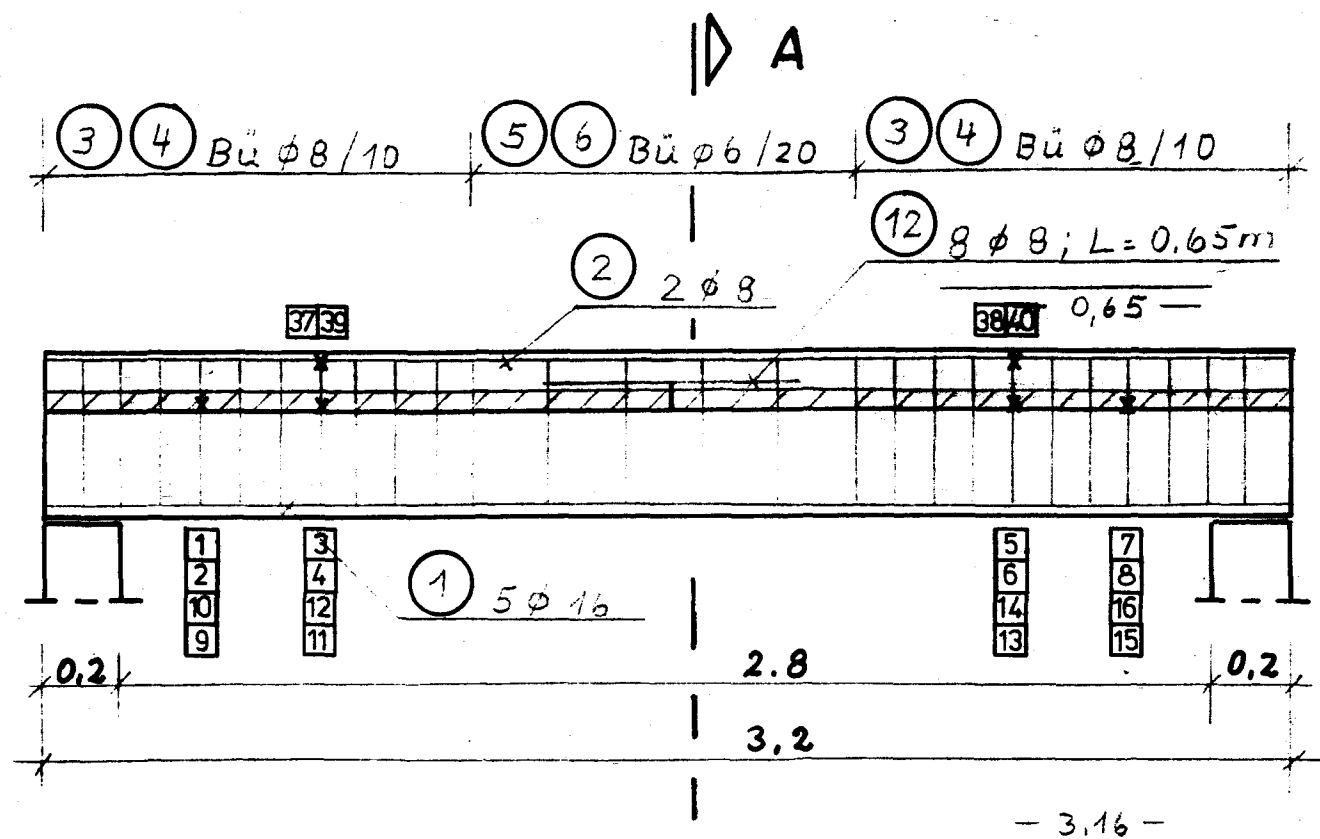
BETON B25

BETONSTAHL BIL 500S

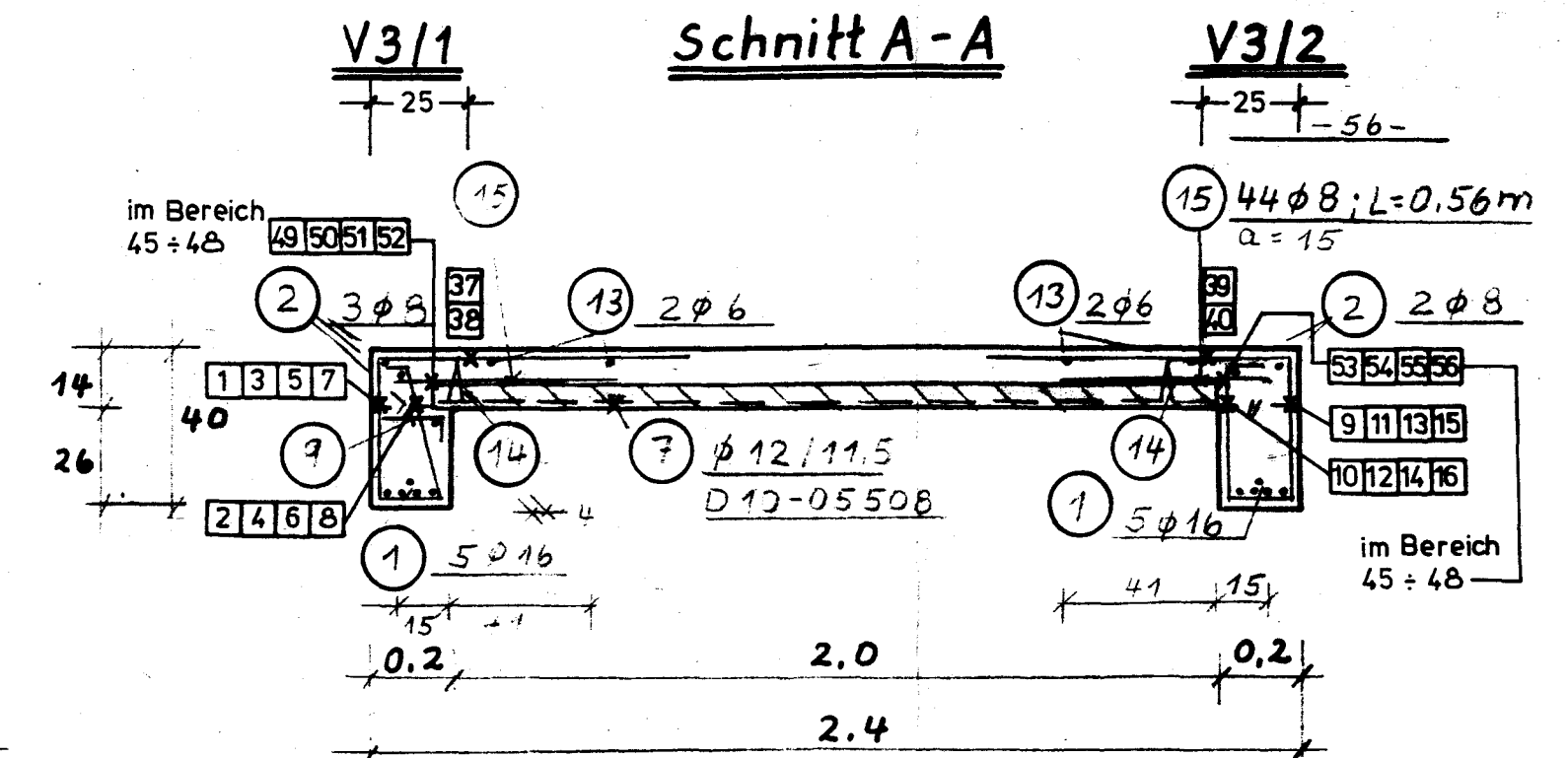
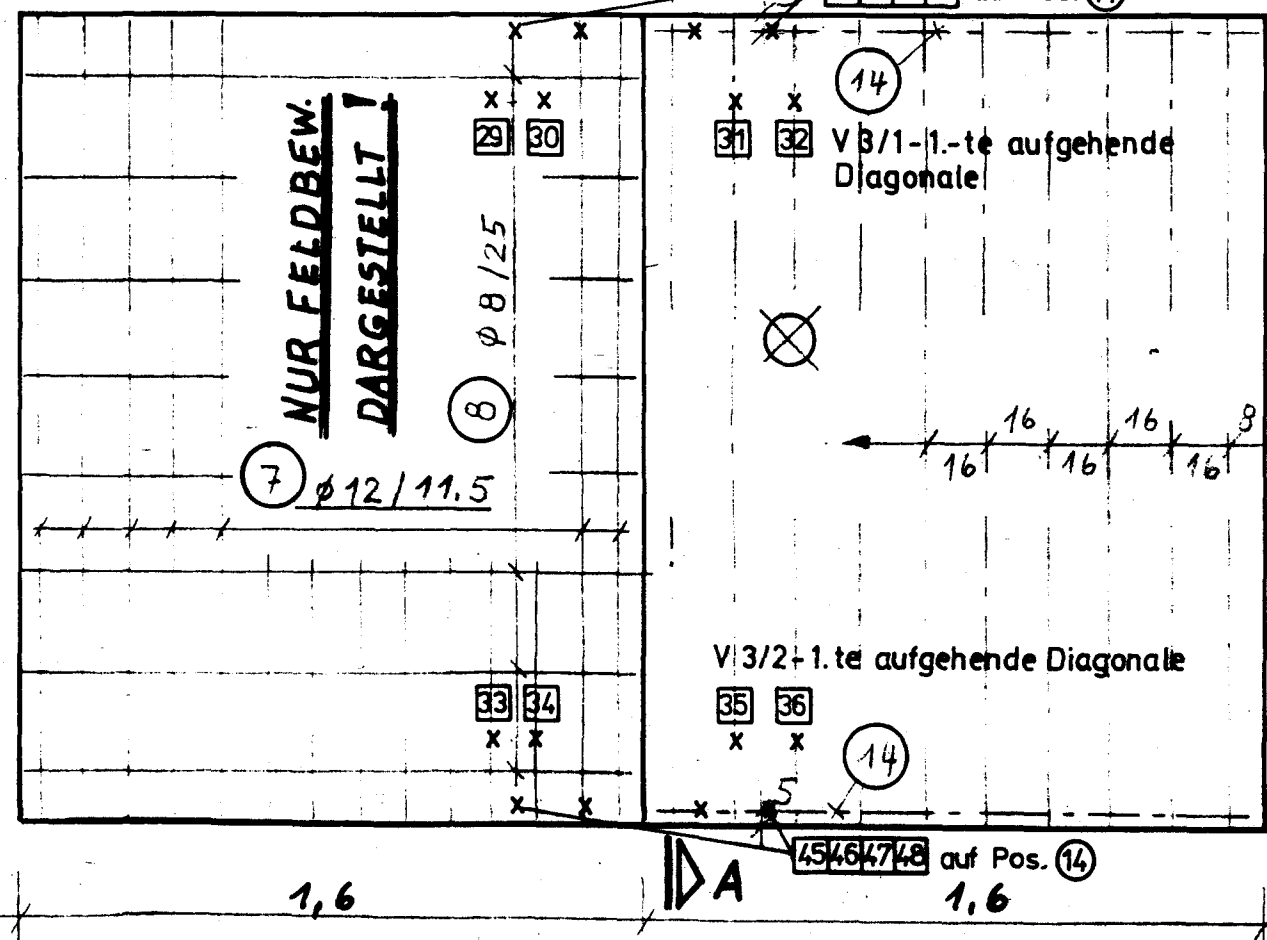


BETON ÜBERDECKUNG:

BALKEN : 2cm



- ① $2 \times 5 = 10 \phi 16; L = 3.16m$ ② $2 + 3 = 5 \phi 8; L = 3.16m$
 ⑧ $2 \times 8 = 16 \phi 8; a = 25; L = 1.56m$ ⑬ $4 \phi 6; L = 3.16m$ ⑭ $2 \times 2 = 4 D 10-05508; L = 1.55m$

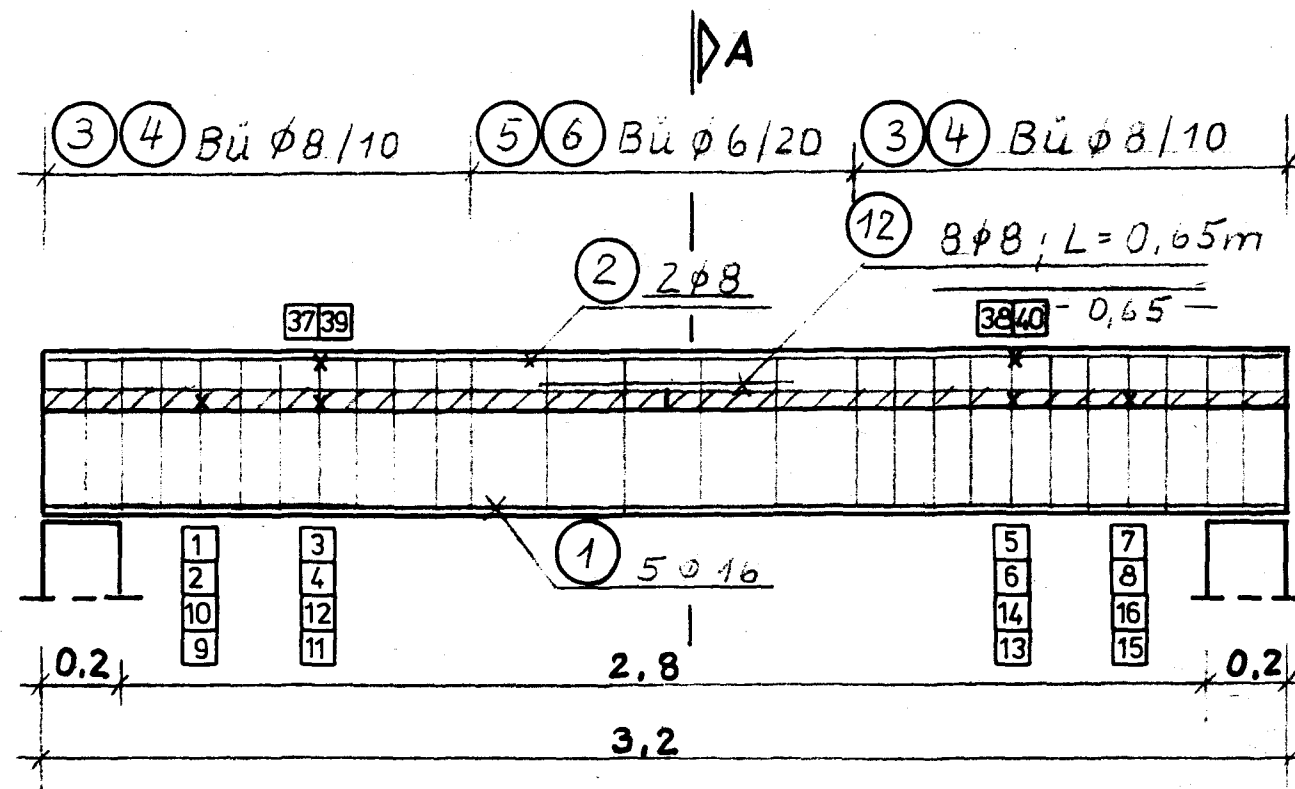


- ③ $2 \times 11 = 22 \phi 8; a = 10; L = 1.76m$ ④ $2 \times 11 = 22 \phi 8; a = 10; L = 1.76m$
 ⑤ $4 \phi 6; a = 20; L = 1.74m$ ⑥ $4 \phi 6; a = 20; L = 1.74m$
 ⑨ $16 \phi 6; a = 20; L = 0.25m$

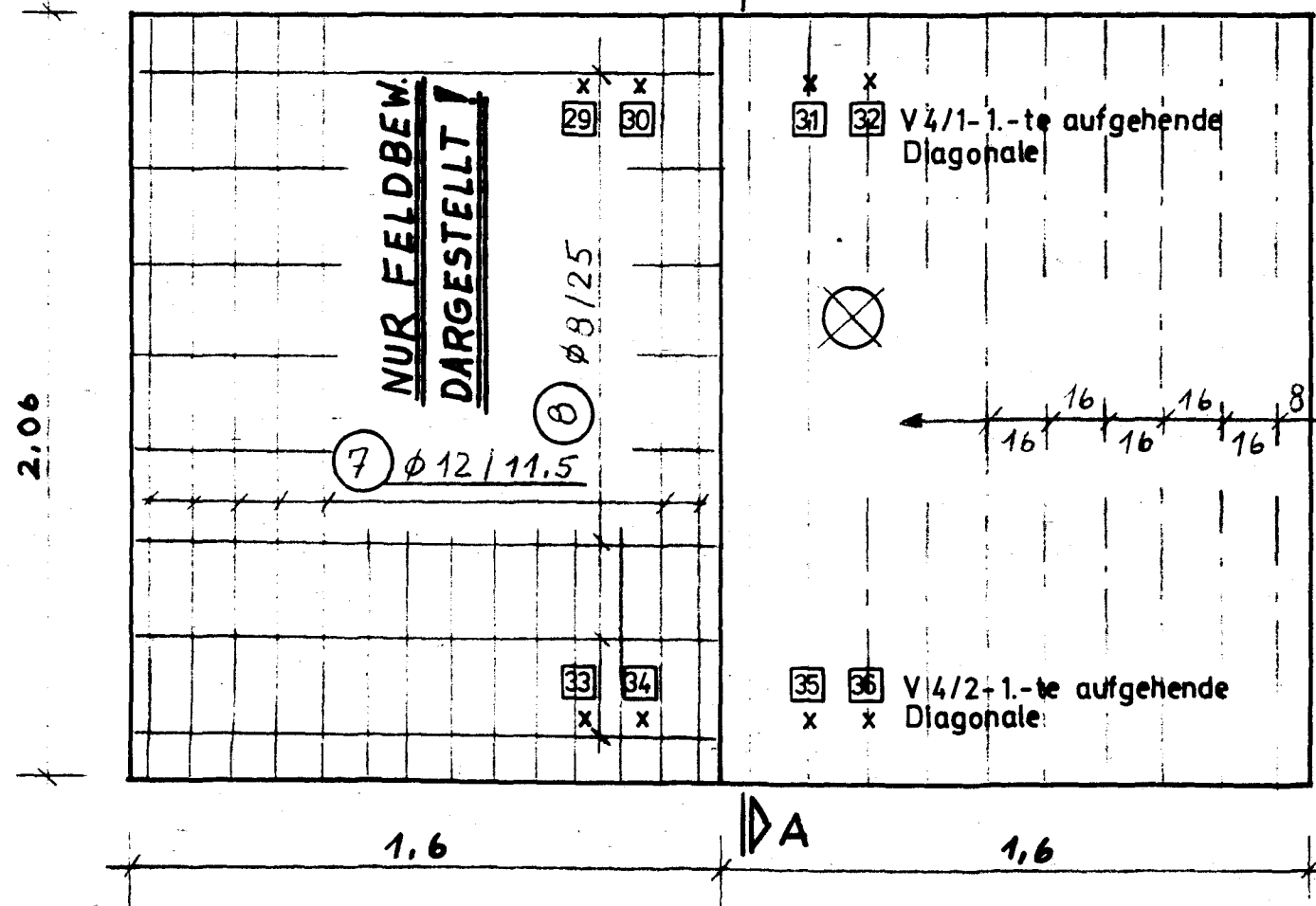
BETON ÜBERDECKUNG:
BALKEN: 2.0cm
PLATTE: 15cm

NUR FILIGRAN-TRÄGER DARGESTELLT. LINKE SEITE SPIEGELBILD LICH AUSFÜHREN!

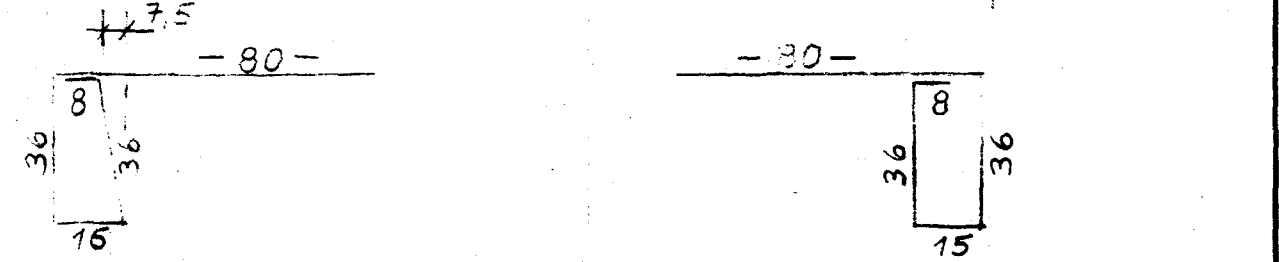
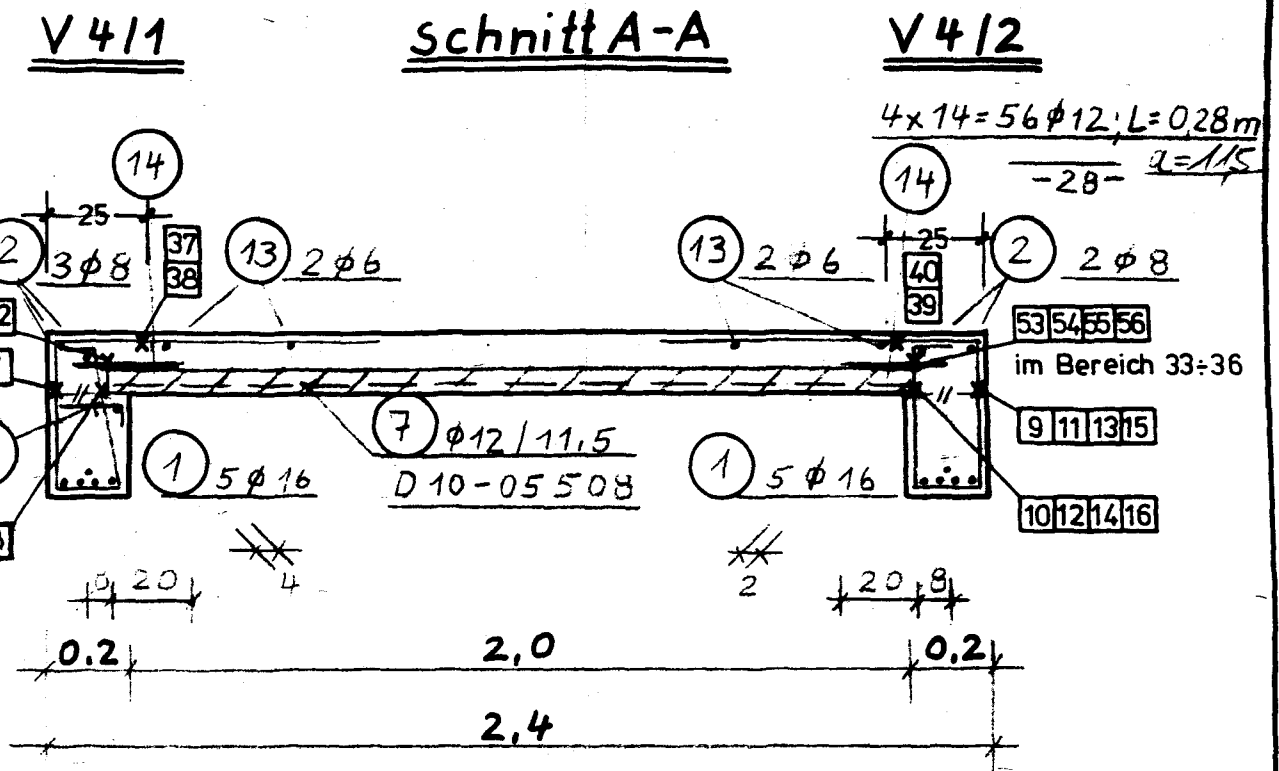
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ	
VERSUCHSTRÄGER	M-1-20
V3/1 UND V3/2	
BETON B25	BLATT 3
BETONSTAHL Bst500S	



- (1) $2 \times 5 = 10 \phi 16; L = 3.16m$ (2) $2 + 3 = 5 \phi 8; L = 3.16m$
 (8) $2 \times 8 = 16 \phi 8; a = 25; L = 1.56m$ (13) $4 \phi 6; L = 3.16m$



- (7) $2 \times 14 = 28 \phi 12; a = 11.5; L = 2.05m$
 (10) $6 \times D 10-05508; L = 2.05m$
 (11) $4 \times 7 = 28 D 10-05508; L = 0.80m$



- (3) $2 \times 11 = 22 \phi 8; a = 10; L = 1.75m$ (4) $2 \times 11 = 22 \phi 8; a = 10; L = 1.75m$
 (5) $4 \phi 6; a = 20; L = 1.74m$ (6) $4 \phi 6; a = 20; L = 1.74m$
 (9) $16 \phi 6; a = 20; L = 0.25m$

BETONÜBERDECKUNG:
BALKEN: 2cm
PLATTE: 1.5cm

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ

VERSUCHSTRÄGER
V4/1 UND V4/2

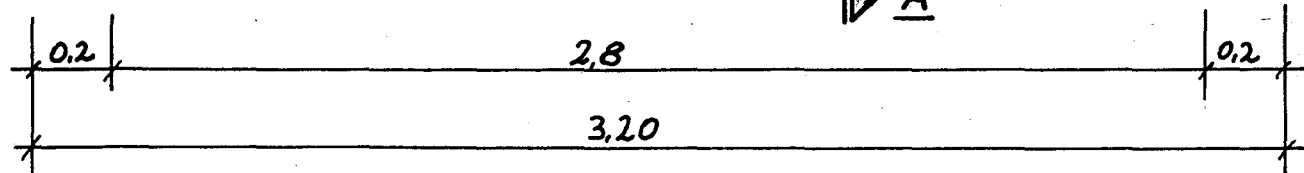
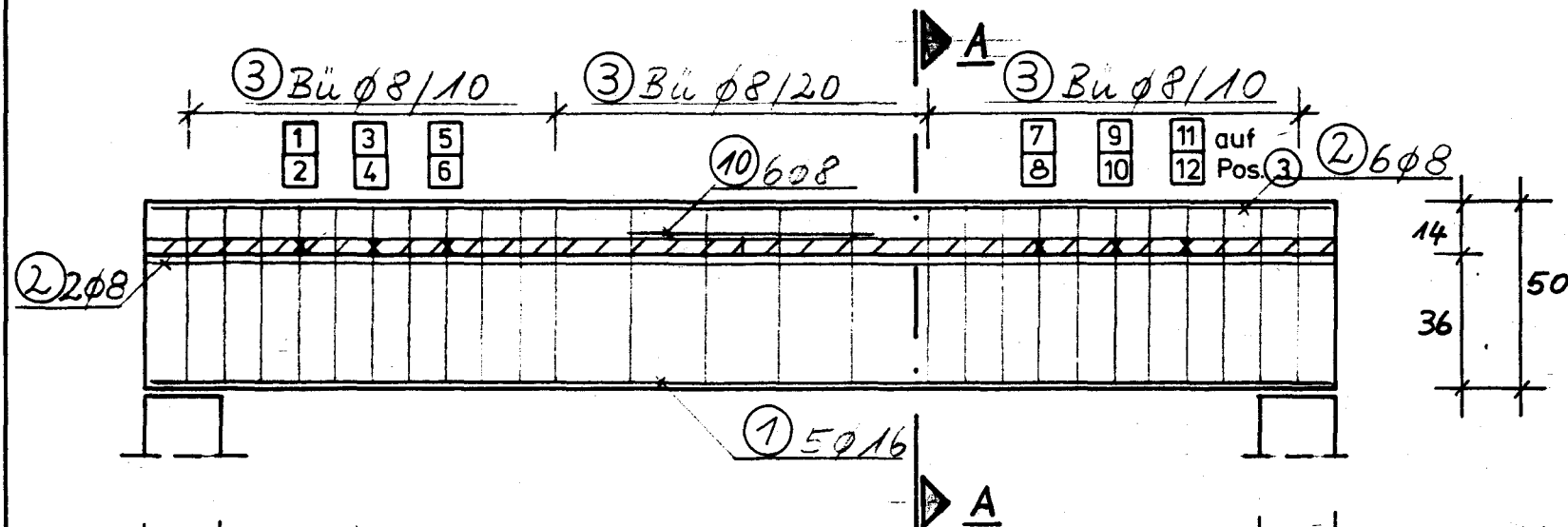
BETON B25
BETONSTAHL BSt 500S

M-1:20
BLATT 4

NUR FILIGRAN TRÄGER DARGESTELLT. LINKE SEITE SPIEGEL BILDlich AUSFÜHREN!

-65-

⑩ 6φ8; L=65cm



① 5φ16, L=3,16m

-3,16-

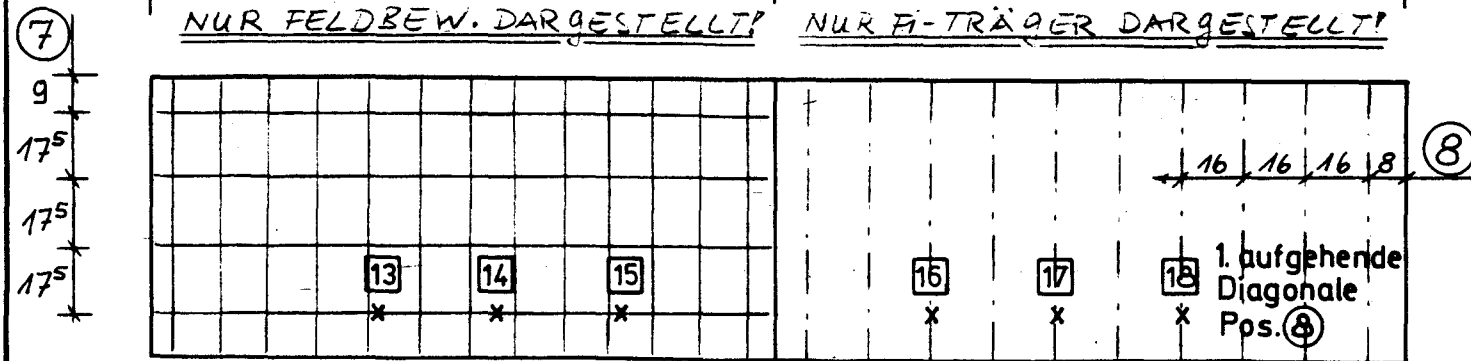
② 10φ8, L=3,16m

-1,57-

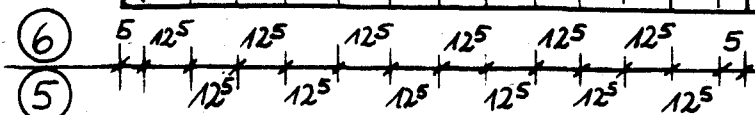
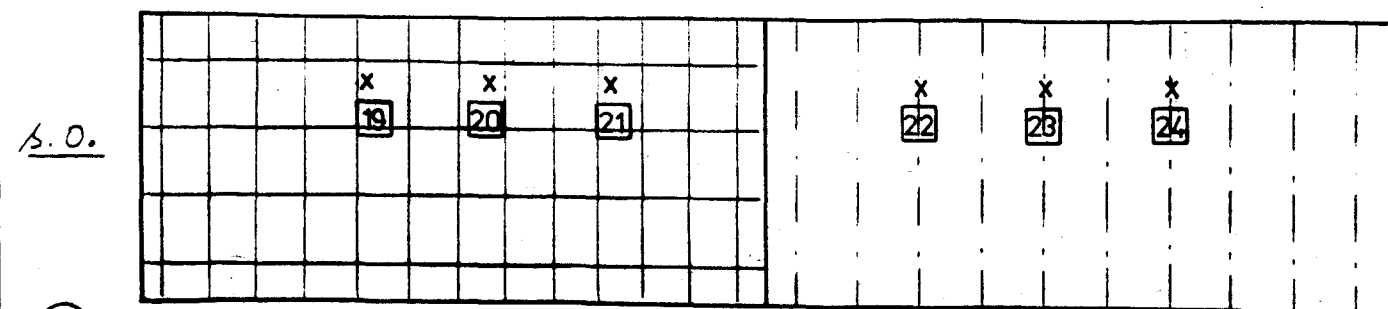
⑦ 4x4=16φ6; L=1,57, e=175



NUR FELDBEW. DARGESTELLT! NUR FI-TRÄGER DARGESTELLT!



s.O.



⑥ 2x13=26φ10; L=71, e=12,5

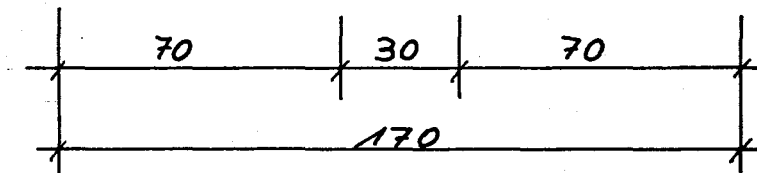
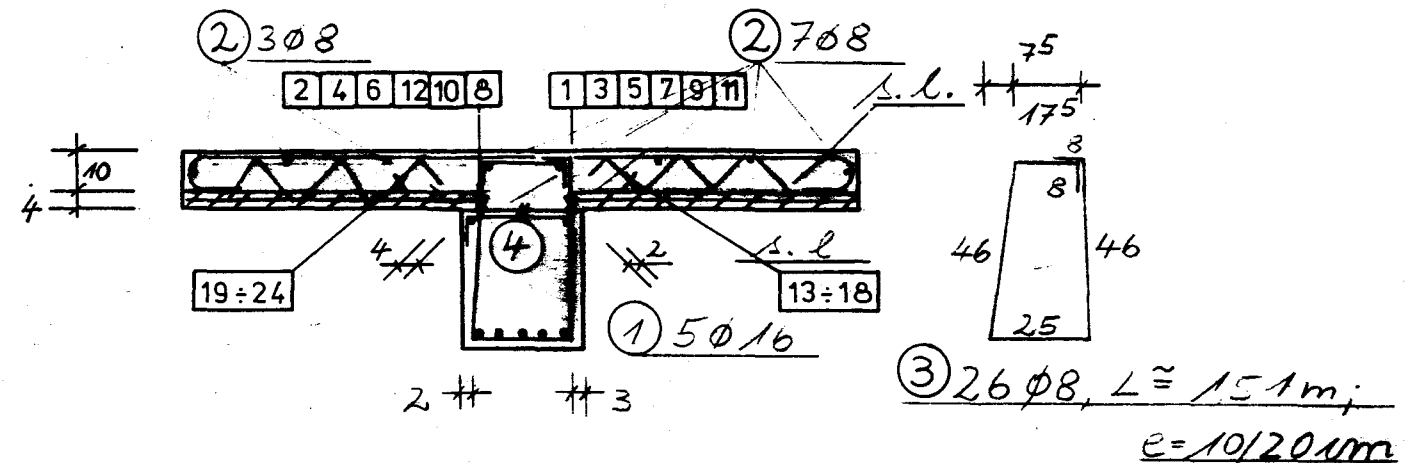
-71-

⑤ 2x13=26φ10; L=73, e=12,5

-73-

⑧ 4x10=40 DM-05 508; L=68cm

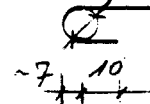
Schnitt A-A



5 25 5

④ 16φ6; L=35, e=20cm

φ=6cm



1,66

⑨ 26φ12, e=125, L=194m

8,5 (Außenmaß?)

BETONÜBERDECKUNG:

BALKEN : 2 cm

PLATTE : 1,5 cm

□ = DMS-Nr.

**INSTITUT FÜR BAUSTOFFE,
MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ**

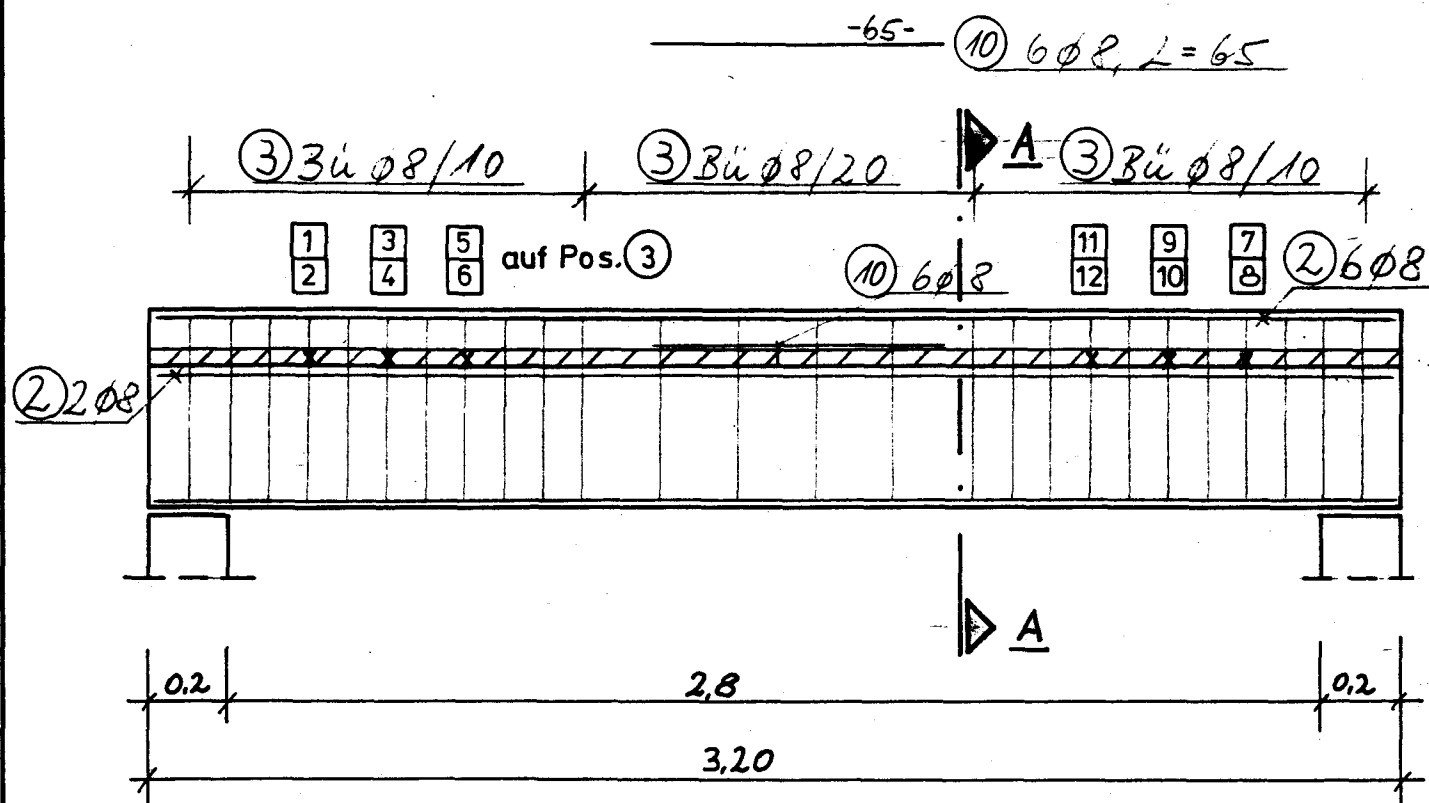
**VERSUCHSTRÄGER
SERIE 2 - V2**

M - 1:20

BLATT 6

**BETON B25
BETONSTAHL BSt500S**

Anm: Die Fi-Platten
sind jeweils
spiegelsymmetrisch
auszuführen?

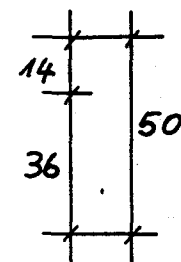
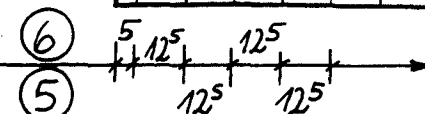
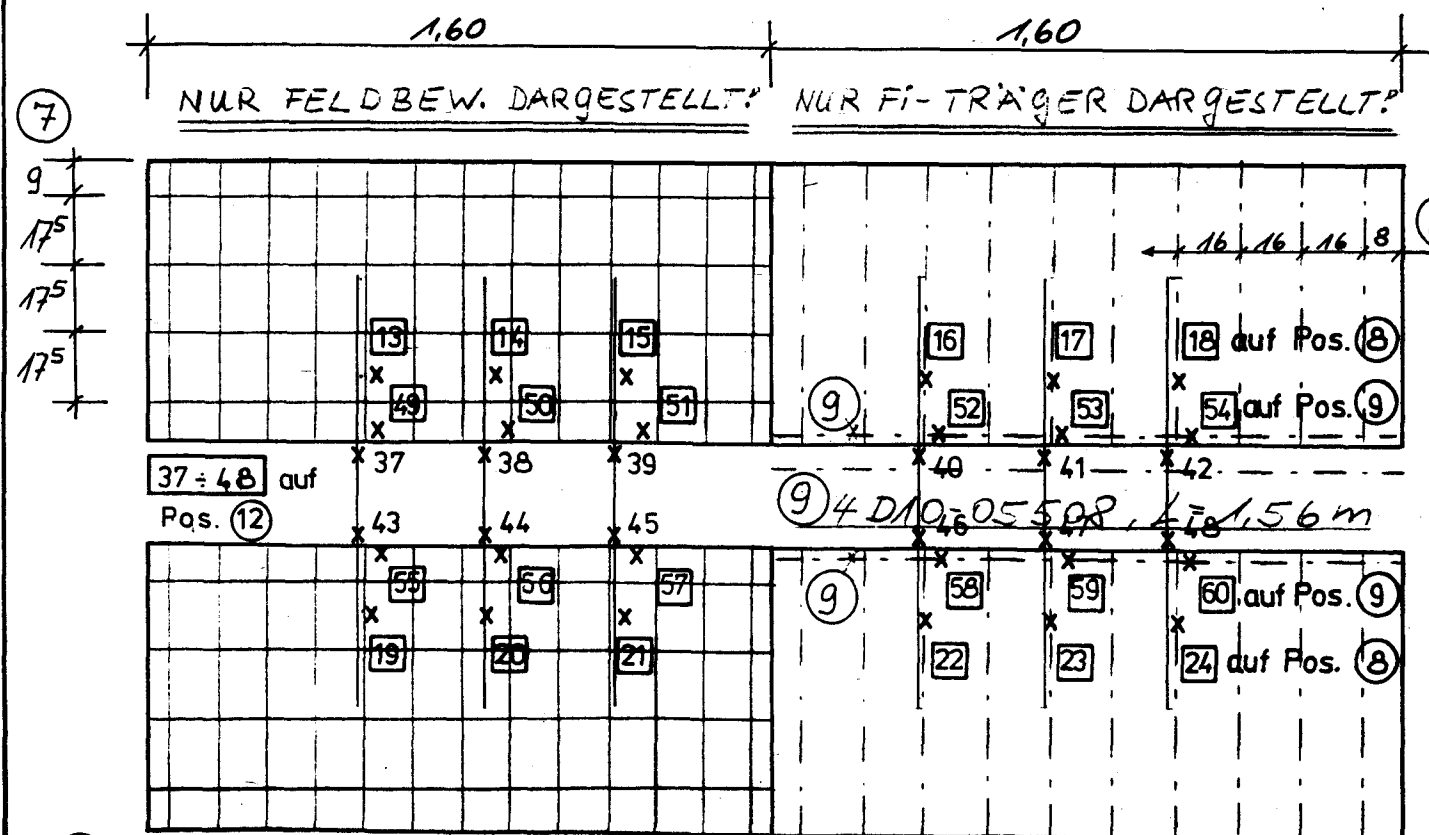


① 5 Ø 16, L = 3.16 m

② 10 Ø 8, L = 3.16 m

-1.57-

⑦ 4x4 = 16 Ø 6, L = 1.57, e = 17.5

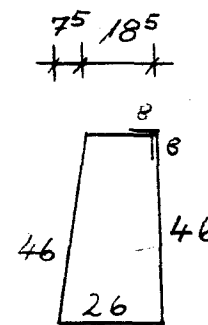
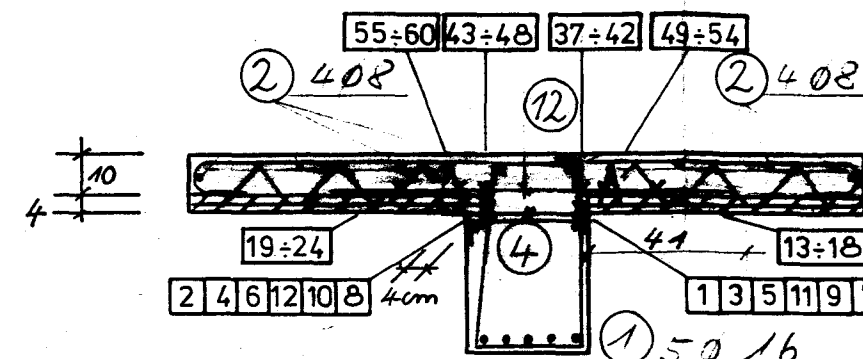


⑥ 2x13 = 26 Ø 10, L = 69, e = 12.5

⑤ 2x13 = 26 Ø 10, L = 73, e = 12.5

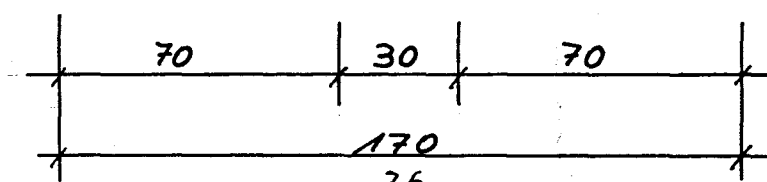
⑧ 4x10 = 40 DM-05 508, L = 68, e = 16

Schnitt A-A

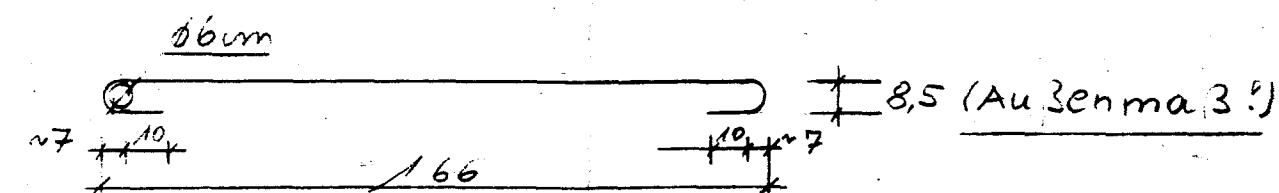


③ 26 Ø 8, L = 1.53 m

e = 10/20



④ 16 Ø 6, L = 35, e = 20



⑪ 26 Ø 12, e = 12.5, L = 1.94 m

BETONÜBERDECKUNG:

BALKEN : 2 cm

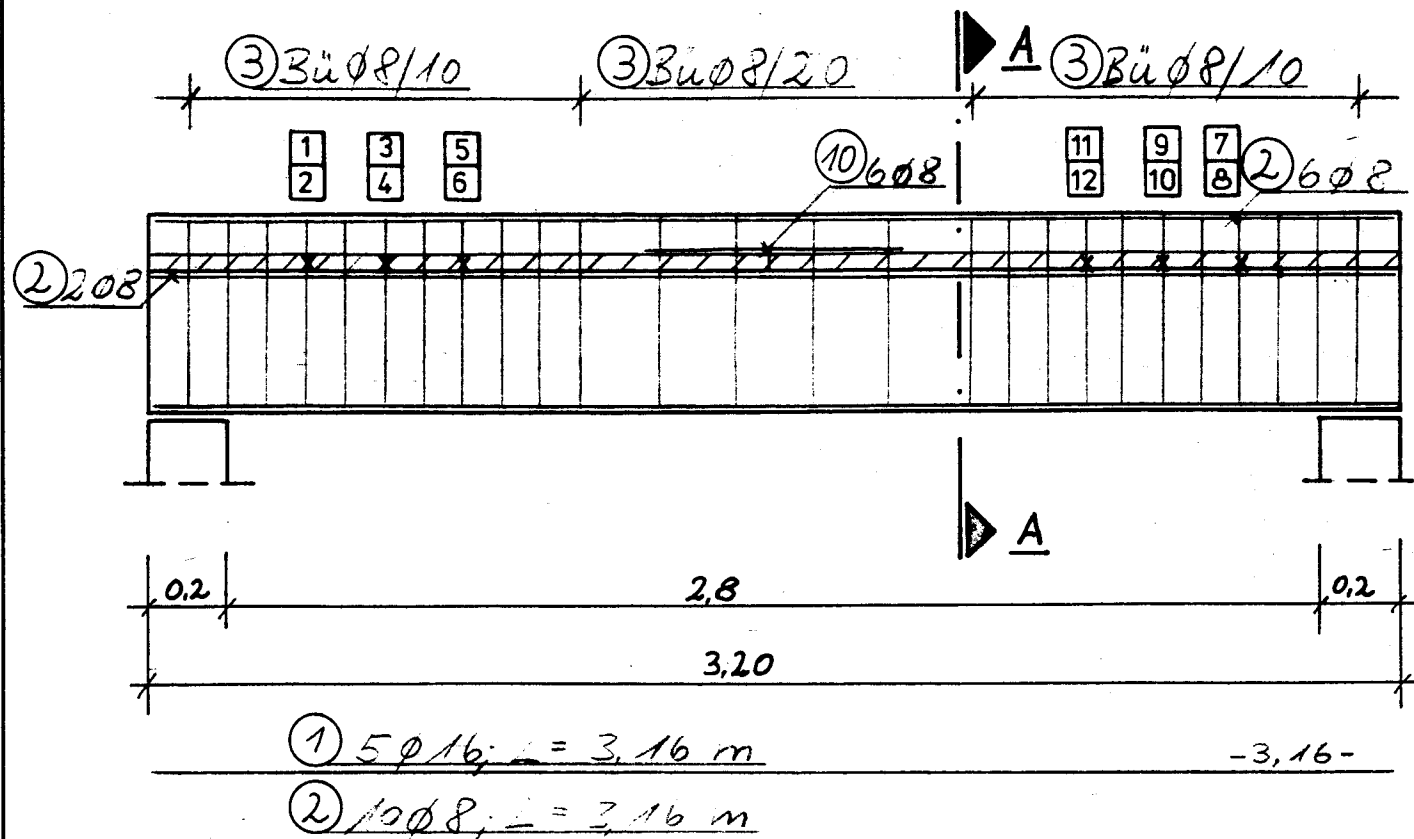
PLATTE : 1.5 cm

□ = DMS - Nr.

Anm.: Die Fi-Platten sind jeweils spiegelbildlich herzustellen!

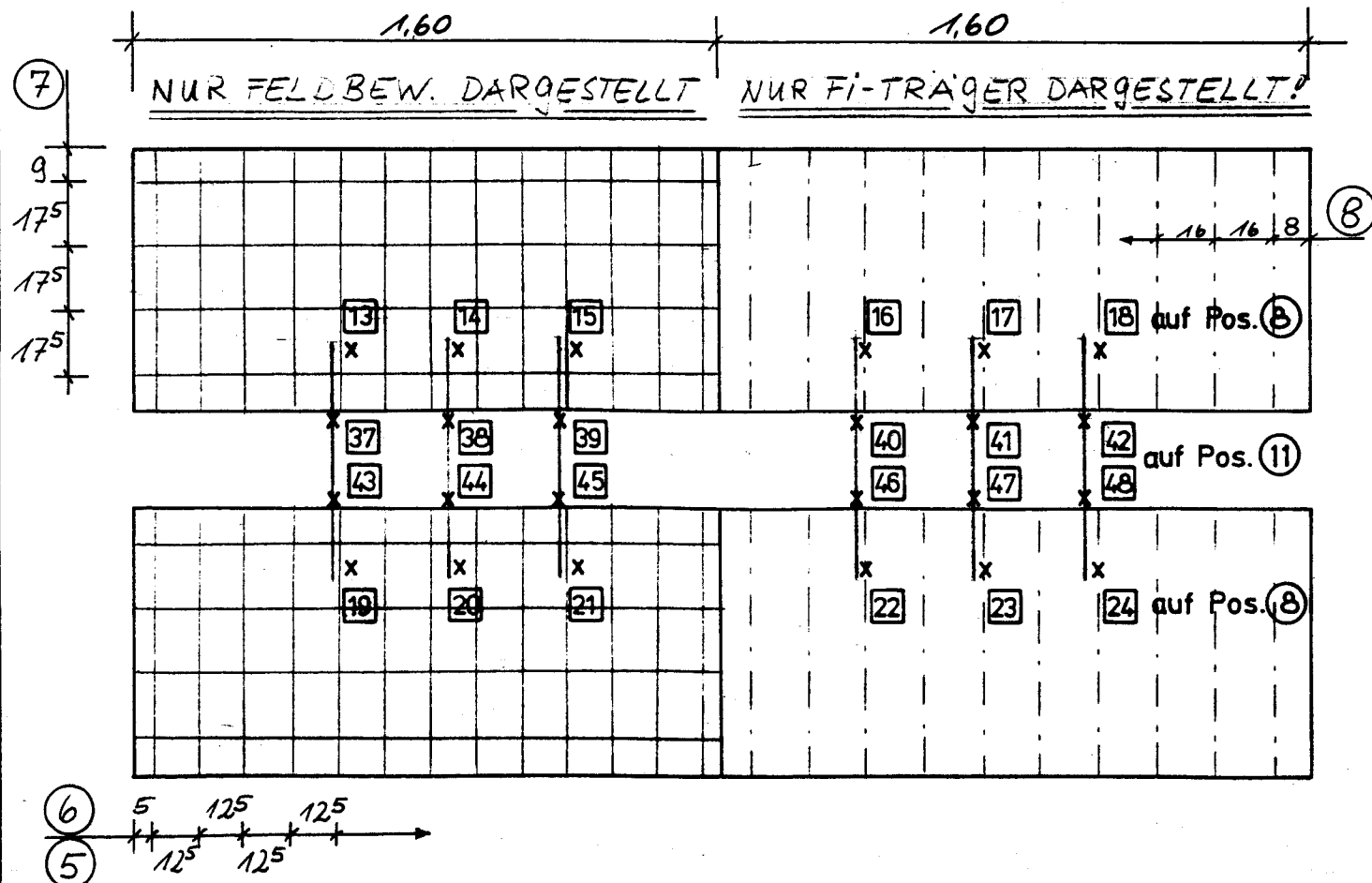
INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ	
VERSUCHSTRÄGER	M-1:20
SERIE 2 - V3	
BETON	B25
BETONSTAHL	BSL500S
	BLATT 7
	Winkel

-65- ⑩ 6 Ø 8; L = 65



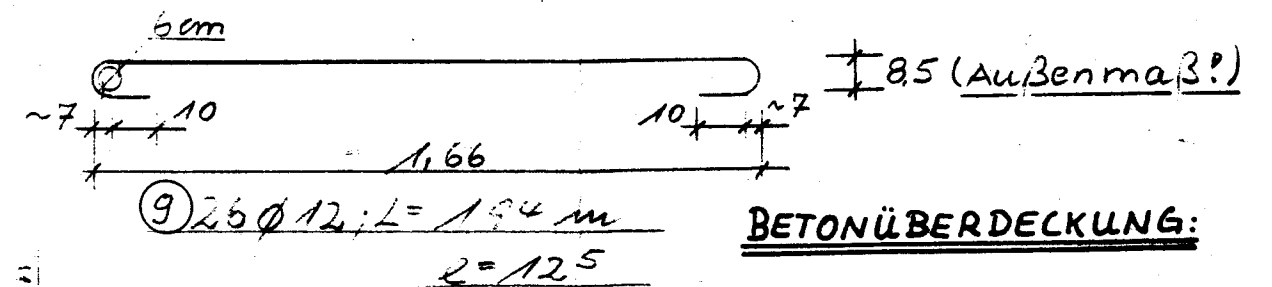
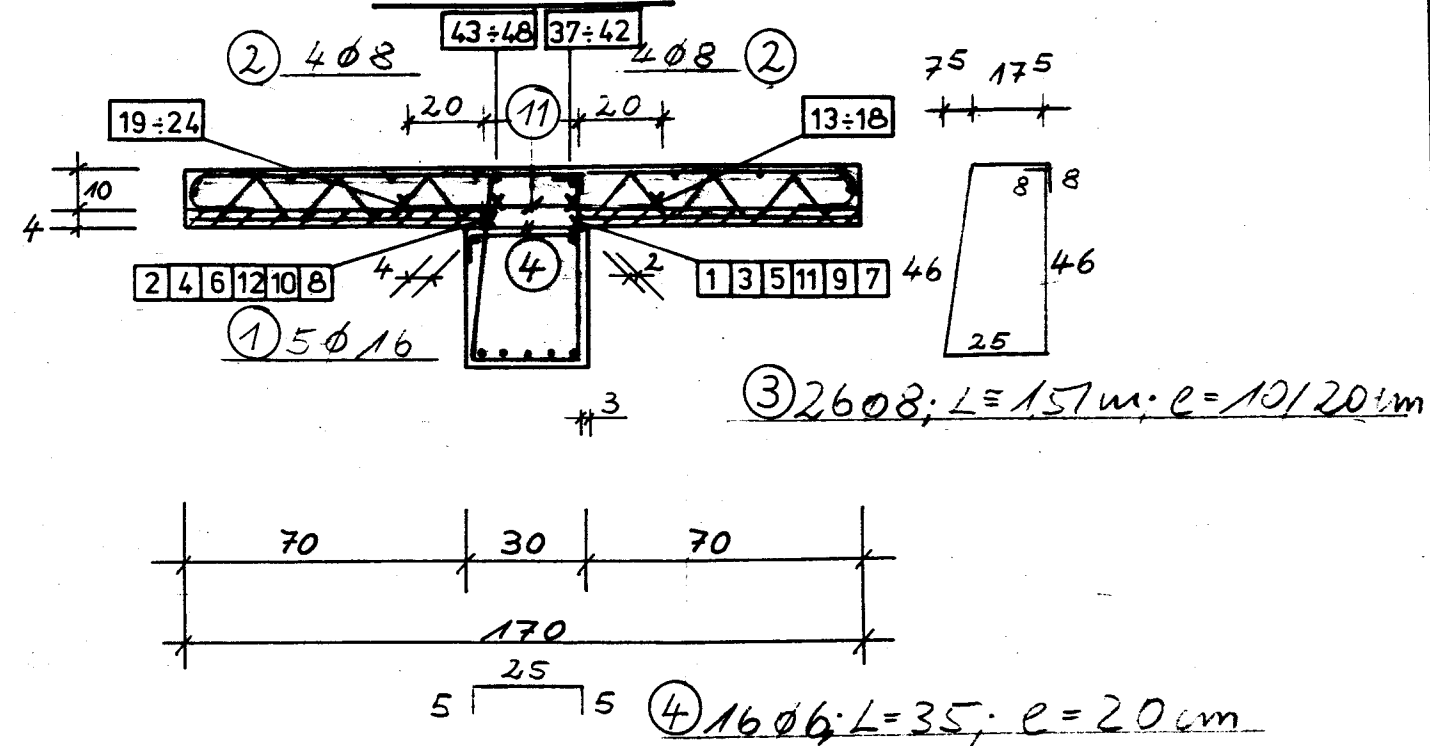
-157-

⑦ 4x4 = 16 Ø 6; L = 157, e = 175



-64- ⑪ 26 Ø 10; L = 64, e = 125 mm

Schnitt A-A



BETONÜBERDECKUNG:

BALKEN : 2 cm

PLATTE : 1,5 cm

□ = DMS-Nr.

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE,
MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ

VERSUCHSTRÄGER
SERIE 2 - V4

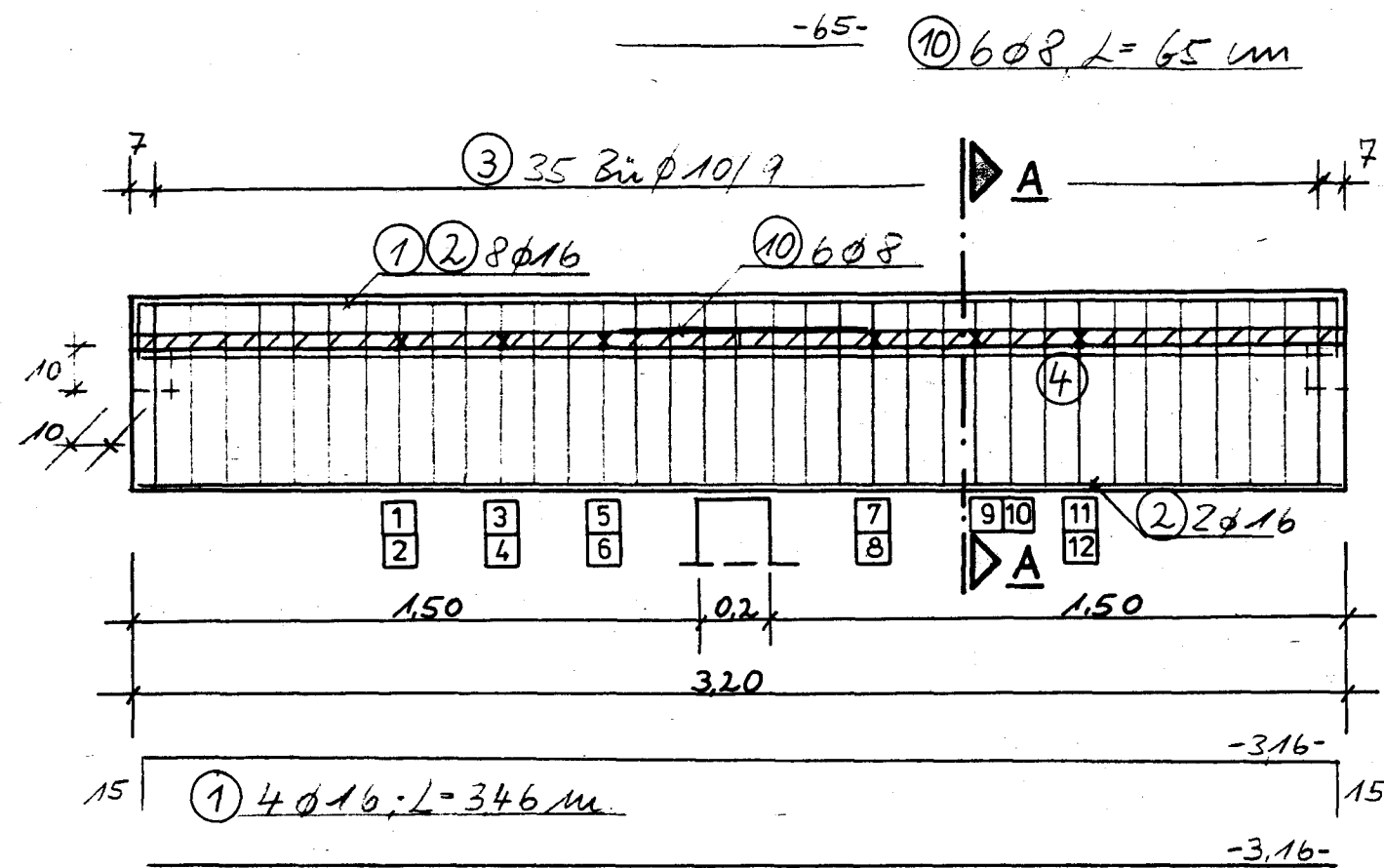
M - 1:20

BLATT 8

BETON B25
BETONSTAHL BSt 500S

Wanke

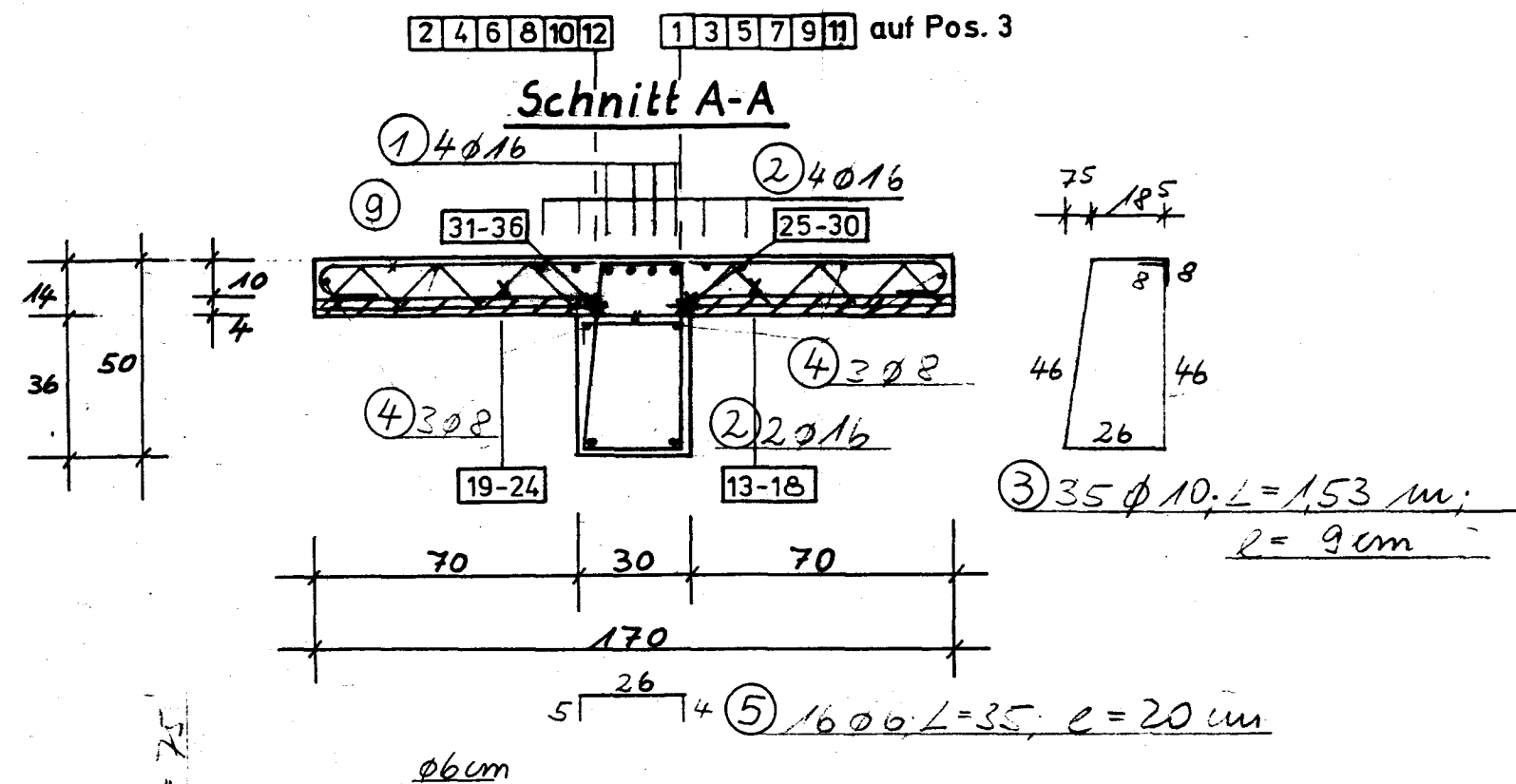
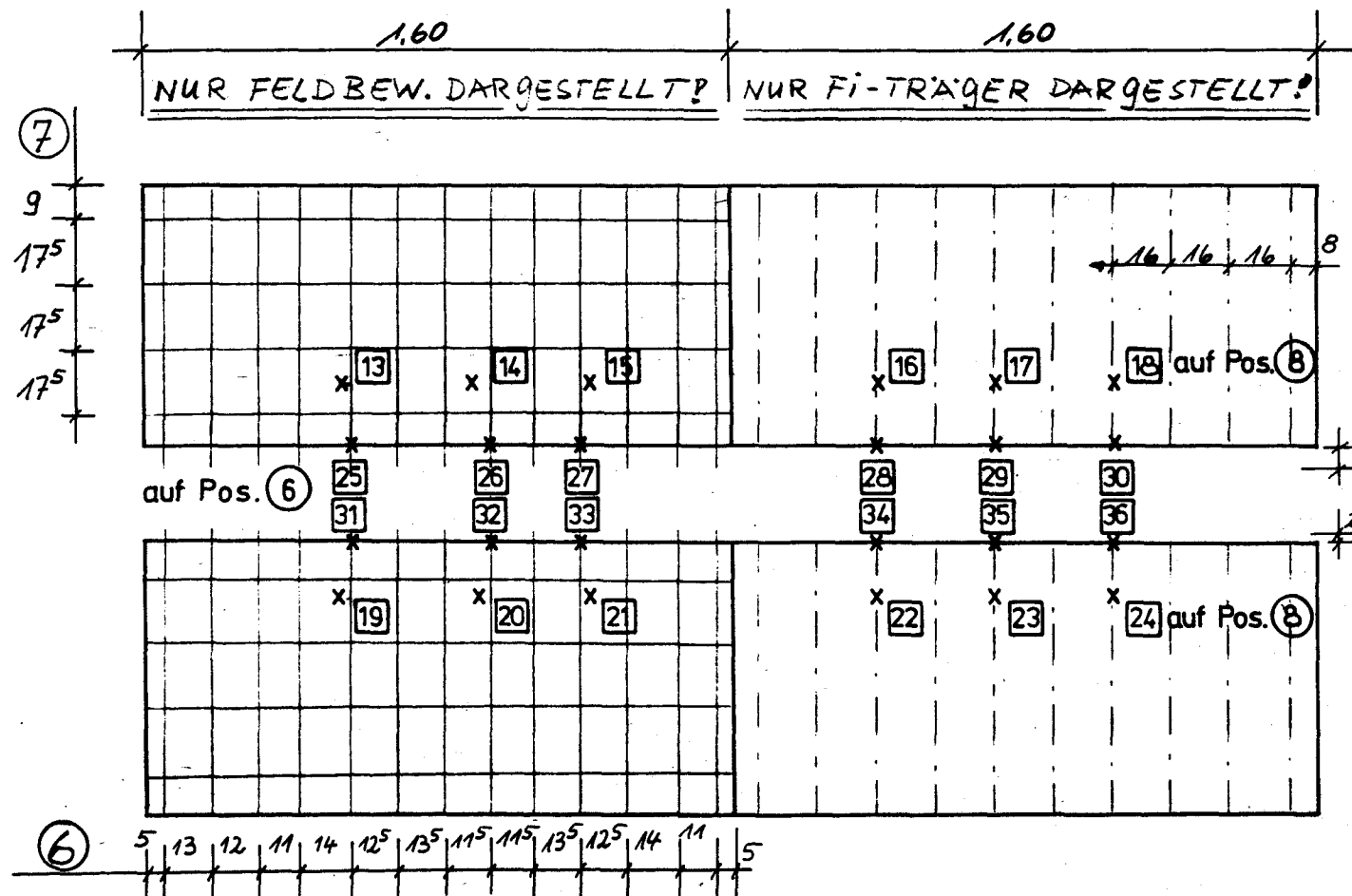
-nm: Die Fi-Platten
sind jeweils
spiegelbildlich
herzustellen?



$\textcircled{2} 6\phi 16; L=3.16 \text{ m}$ $\textcircled{4} 6\phi 8; L=3.16 \text{ m}$

-157-

$\textcircled{7} 4 \times 4 = 16\phi 6; L=1.57; c=17.5 \text{ cm}$



$\textcircled{9} 26\phi 12; L=1.74; c=12.5 \text{ cm}$

8.5 (Außenmaß 3?)

1.66

BETONÜBERDECKUNG:

BALKEN : 2 cm

PLATTE : 1.5 cm

$\textcircled{8} 4 \times 4 = 40 \text{ Hk}$
D 11-05 5 08
L = 68 cm; c = 16 cm

Anm: Die Fi-Platten
sind jeweils spiegel-
bildlich herzustellen!

☐ = DMS-Nr.

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE,
MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ

VERSUCHSTRÄGER M-1:20

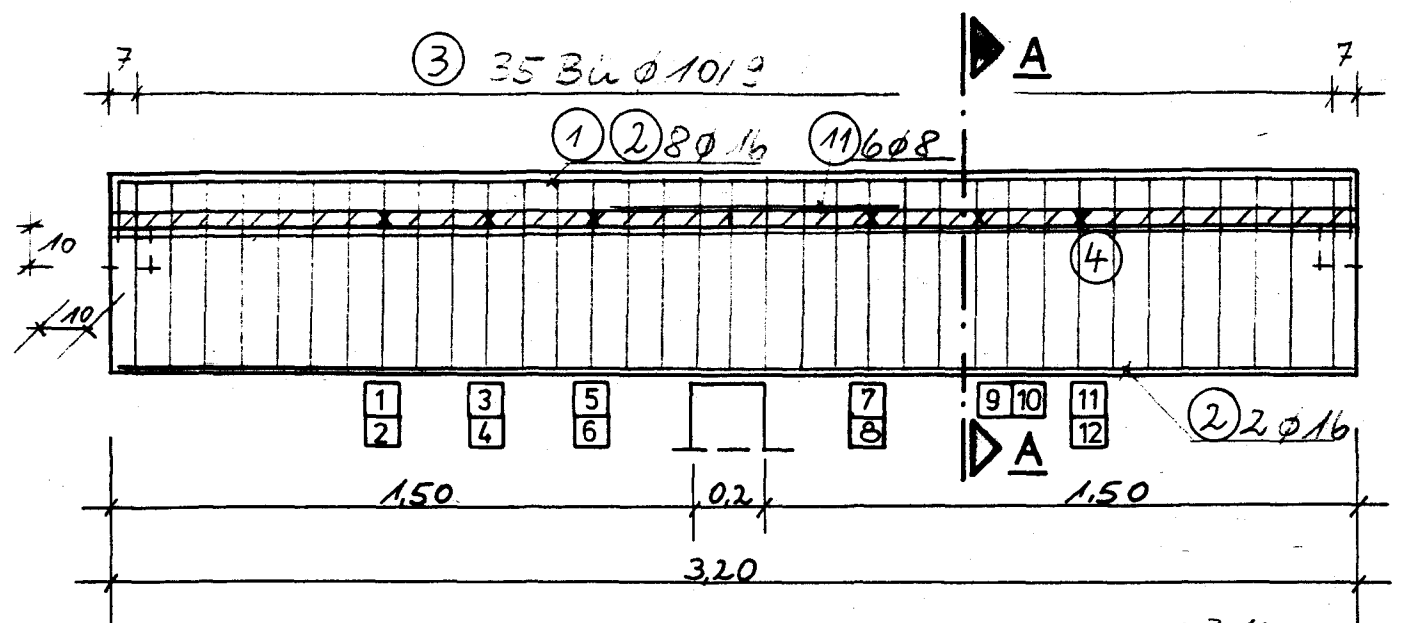
SERIE 3 - V1

BETON B25

BETONSTAHL BSt 500S

Heute

-65- ⑪ 6 Ø 8; L = 65 cm

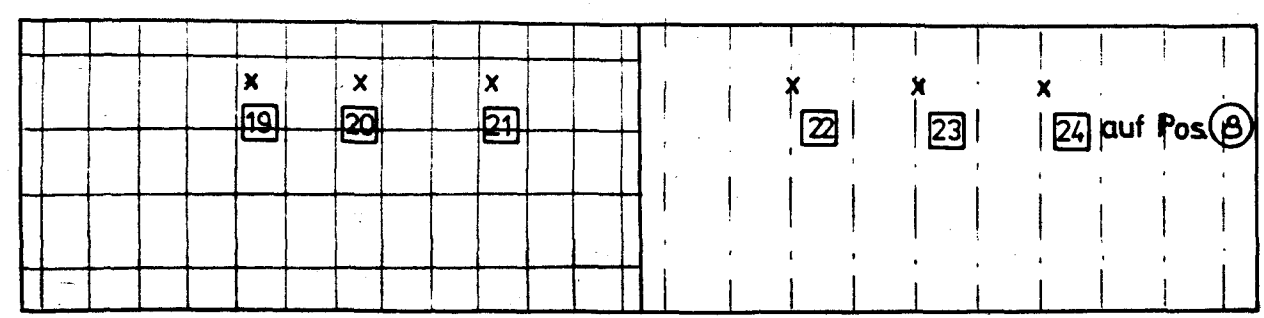
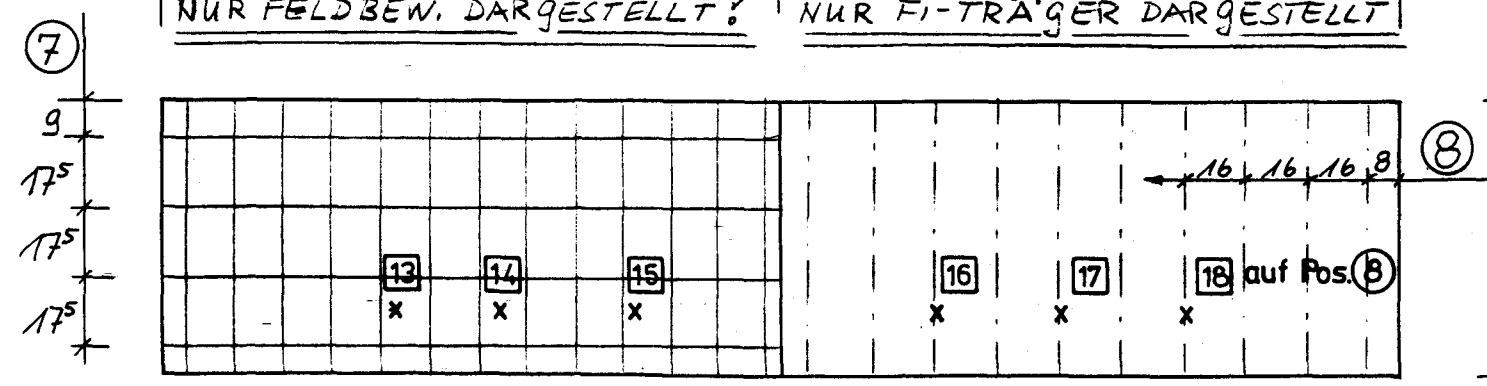


① 4 Ø 16; L = 3.16 m

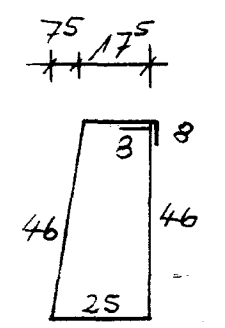
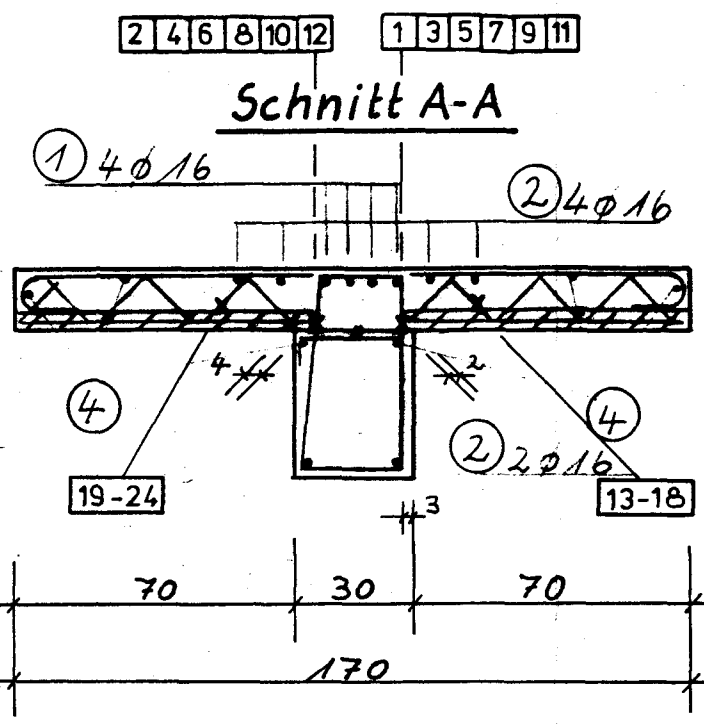
② 6 Ø 16; L = 3.16 m ④ 6 Ø 8; L = 3.16 m

⑦ 4x4 = 16 Ø 6; L = 1.57 m; c = 17.5 cm

NUR FELDBEW. DARGESTELLT? NUR FI-TRÄGER DARGESTELLT

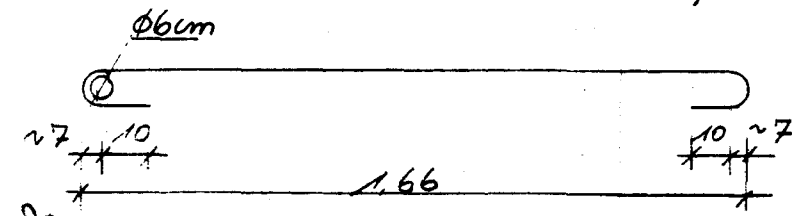


⑥ 5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 5
⑤ 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 5



③ 25 Ø 10; L = 1.57 m
c = 9 cm

⑨ 16 Ø 6; L = 3.5; c = 20 cm



⑩ 26 Ø 12; L = 1.94 m; c = 12.5 cm

85 (Außenmaß)

BETONÜBERDECKUNG:

BALKEN : 2 cm
PLATTE : 1.5 cm

⑥ Lx13 = 26 Ø 10; L = 11; c = 12.5

⑧ 4x10 = 40 D.M. Ø 5 Ø 8
L = 68 cm; c = 16 cm

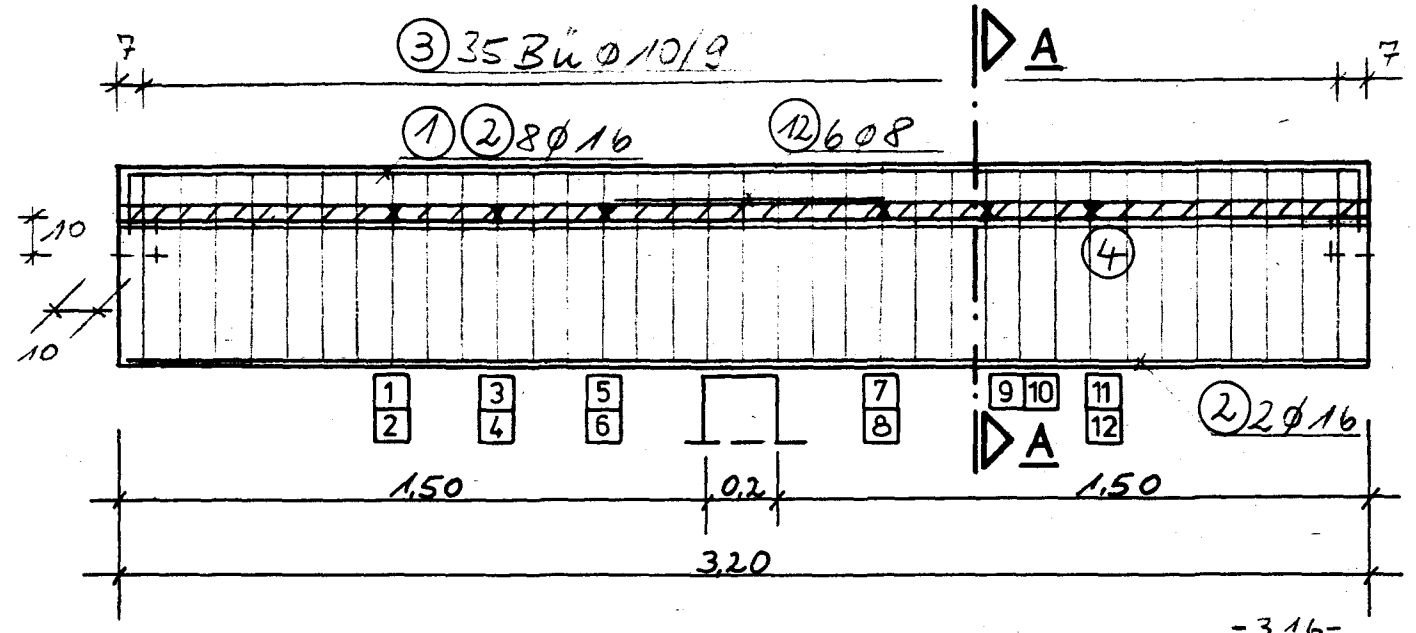
⑤ 2x13 = 26 Ø 10
L = 73; c = 12.5

Anm: Die Fi-Platten sind jeweils spiegelbildlich herzustellen!

□ = DMS - Nr.

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ	
VERSUCHSTRÄGER	M-1:20
SERIE 3 - V2	BLATT 10
BETON 825	
BETONSTAHL BSt 500S	
Hentke	

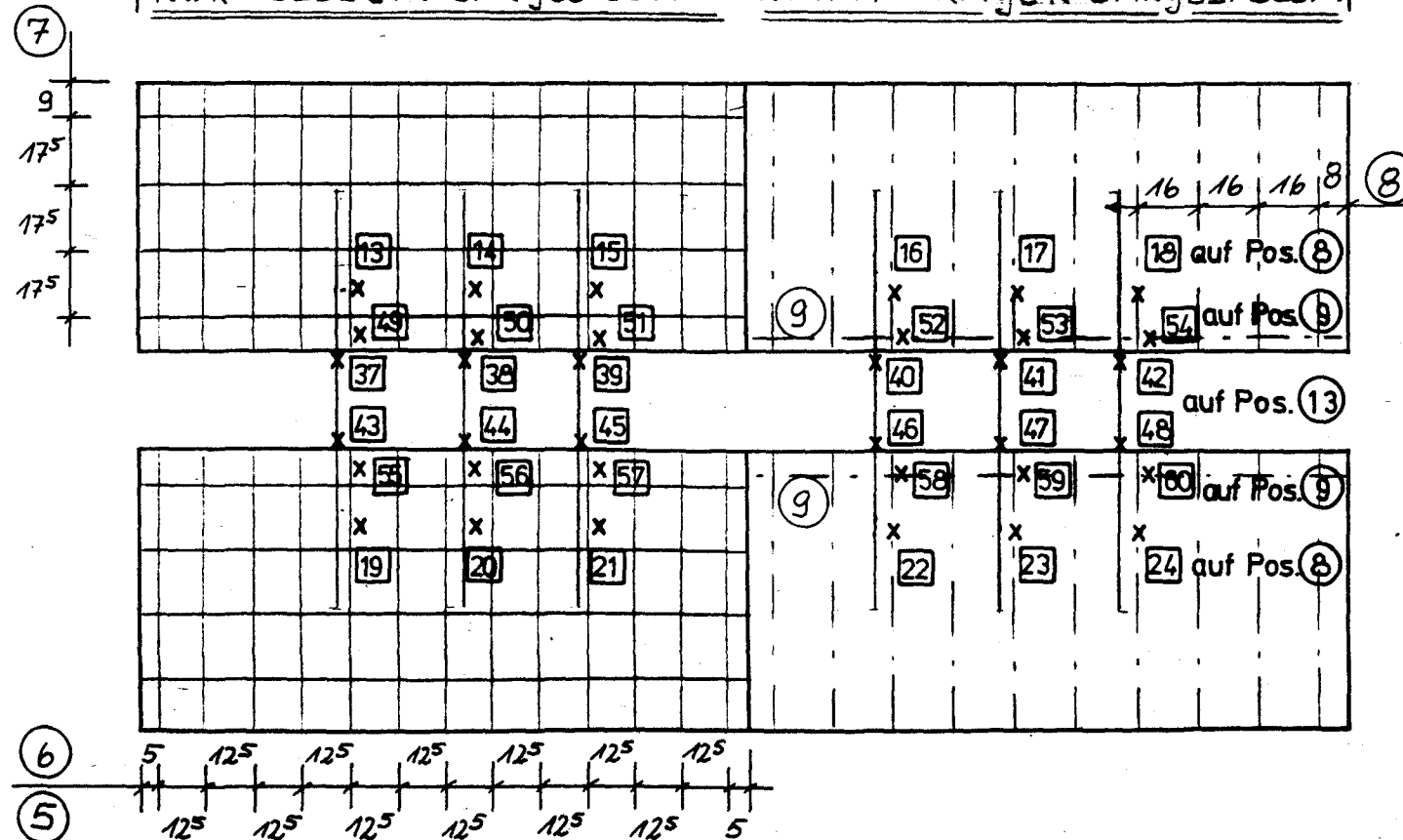
-65- ⑫ 608, L=65m



① 4016, L=3.16m
② 6016, L=3.16m
④ 608, L=3.16m

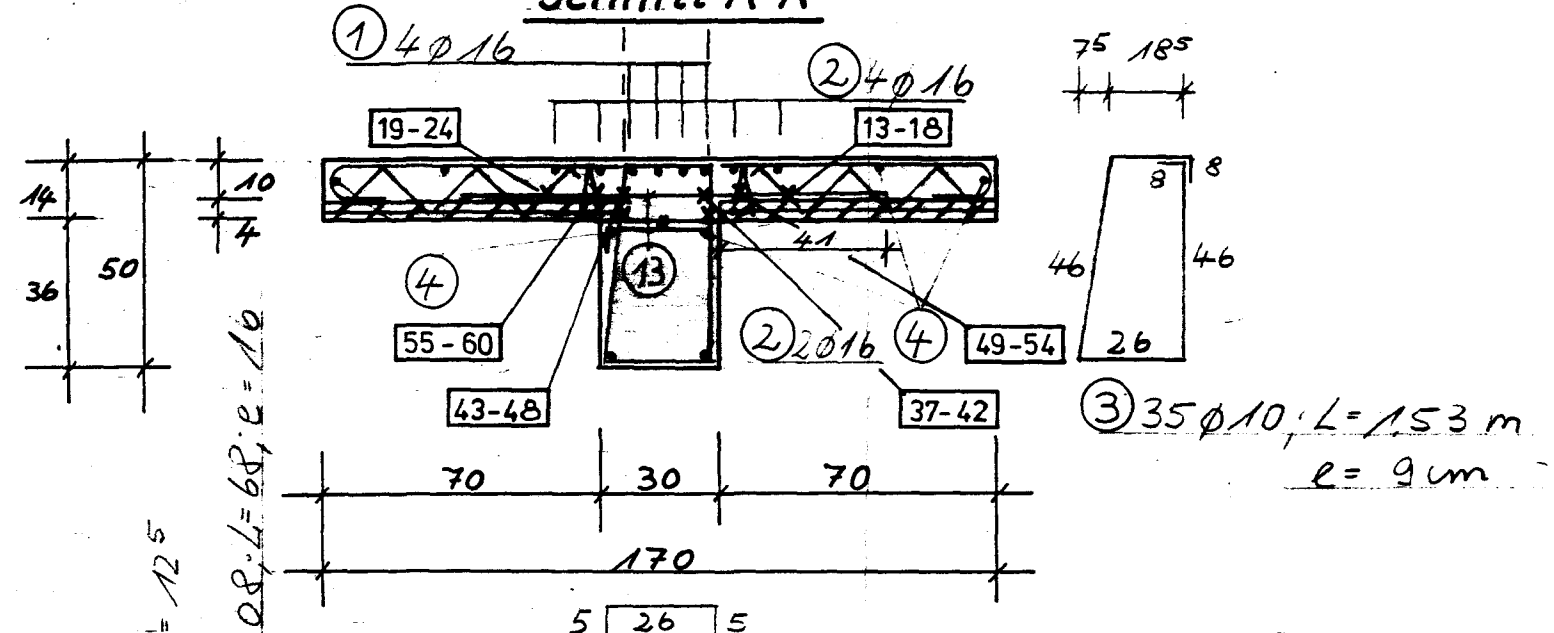
⑦ 4x4=1606, L=1.57, e=17.5
⑨ 4 D9 - 0.5508, L=1.57m

NUR FELDBEW. DARGESTELLT! NUR FI-TRÄGER DARGESTELLT!



-1.08- ⑬ 2208, L=108m, e=15
auf Pos. ③

Schnitt A-A



⑤ 2x13=26010, L=6.9, e=12.5
⑧ 4x10=40 DM-0.5508, L=6.8, e=10

⑩ 1600=35, e=20m
⑪ 20012, L=1.94m, e=12.5m

BETONÜBERDECKUNG:

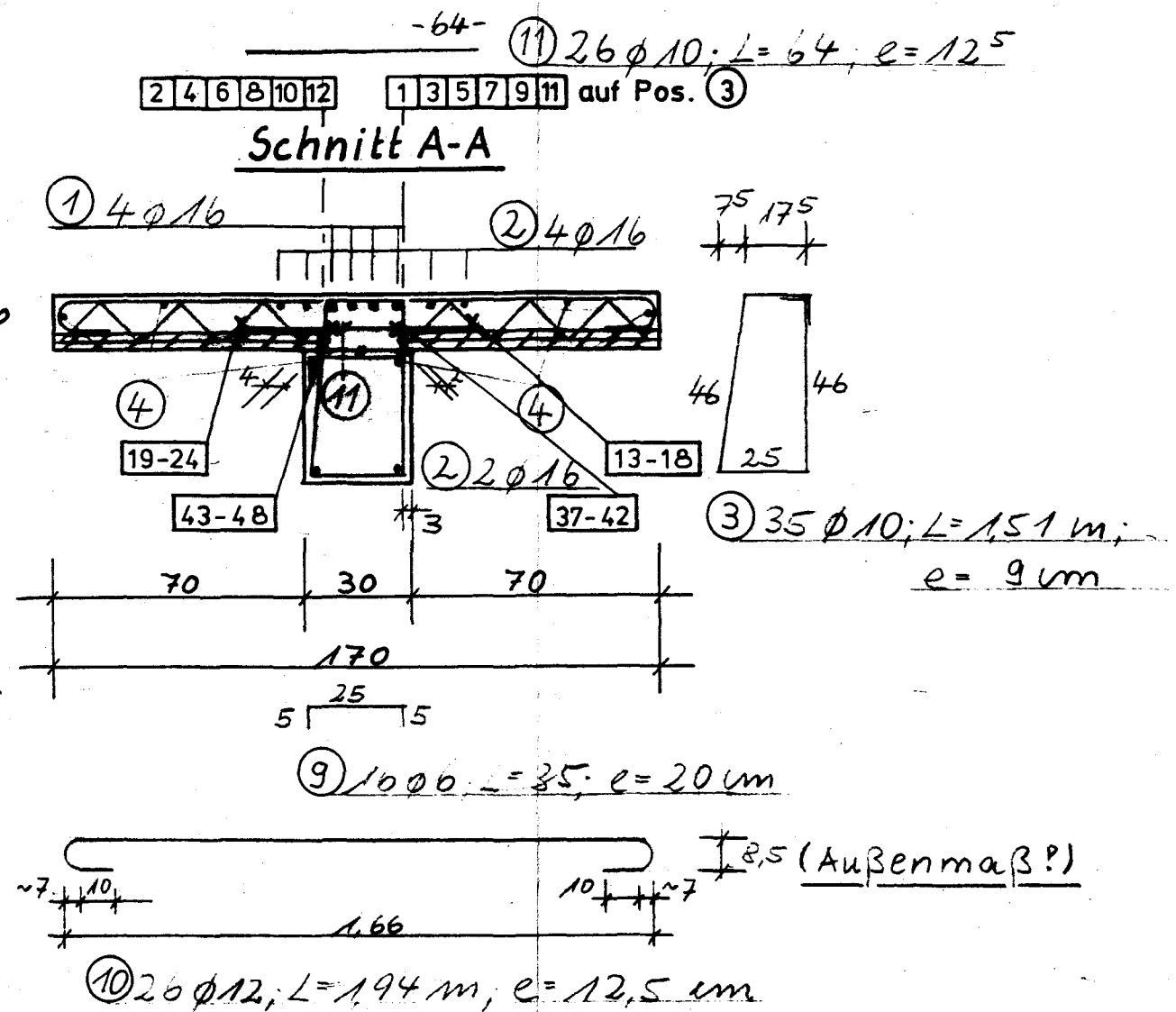
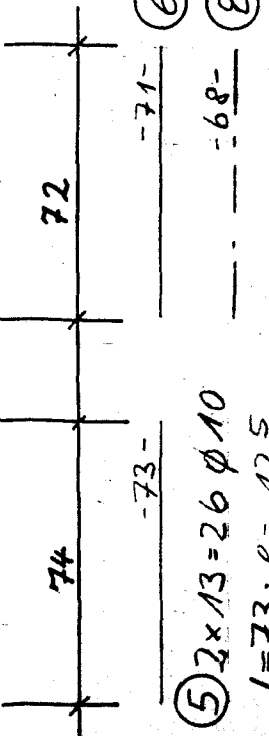
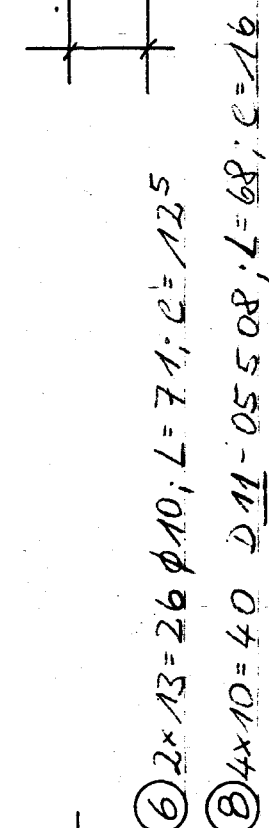
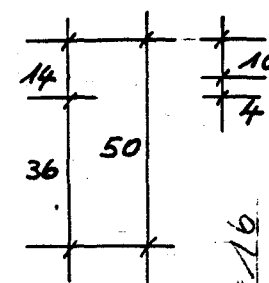
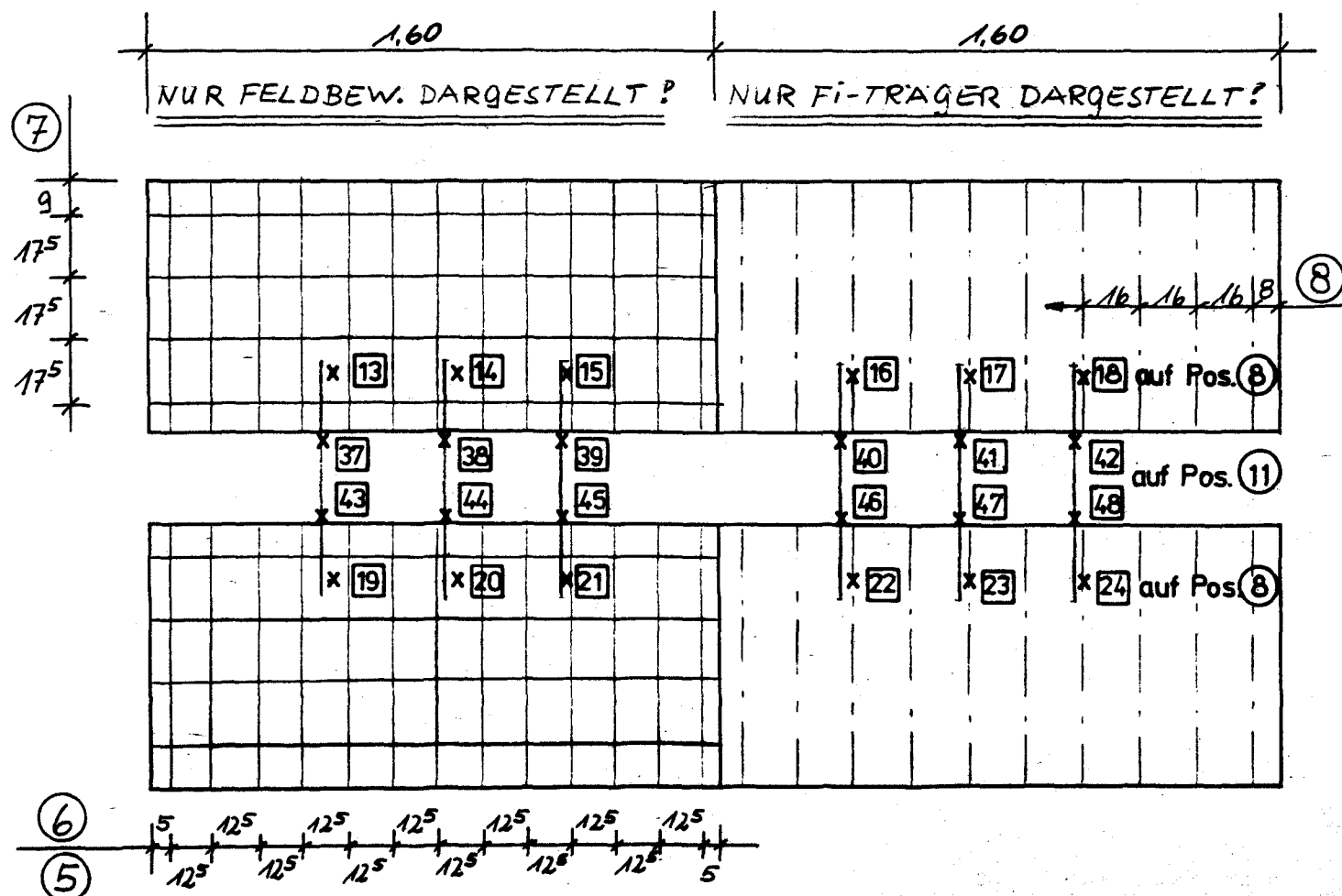
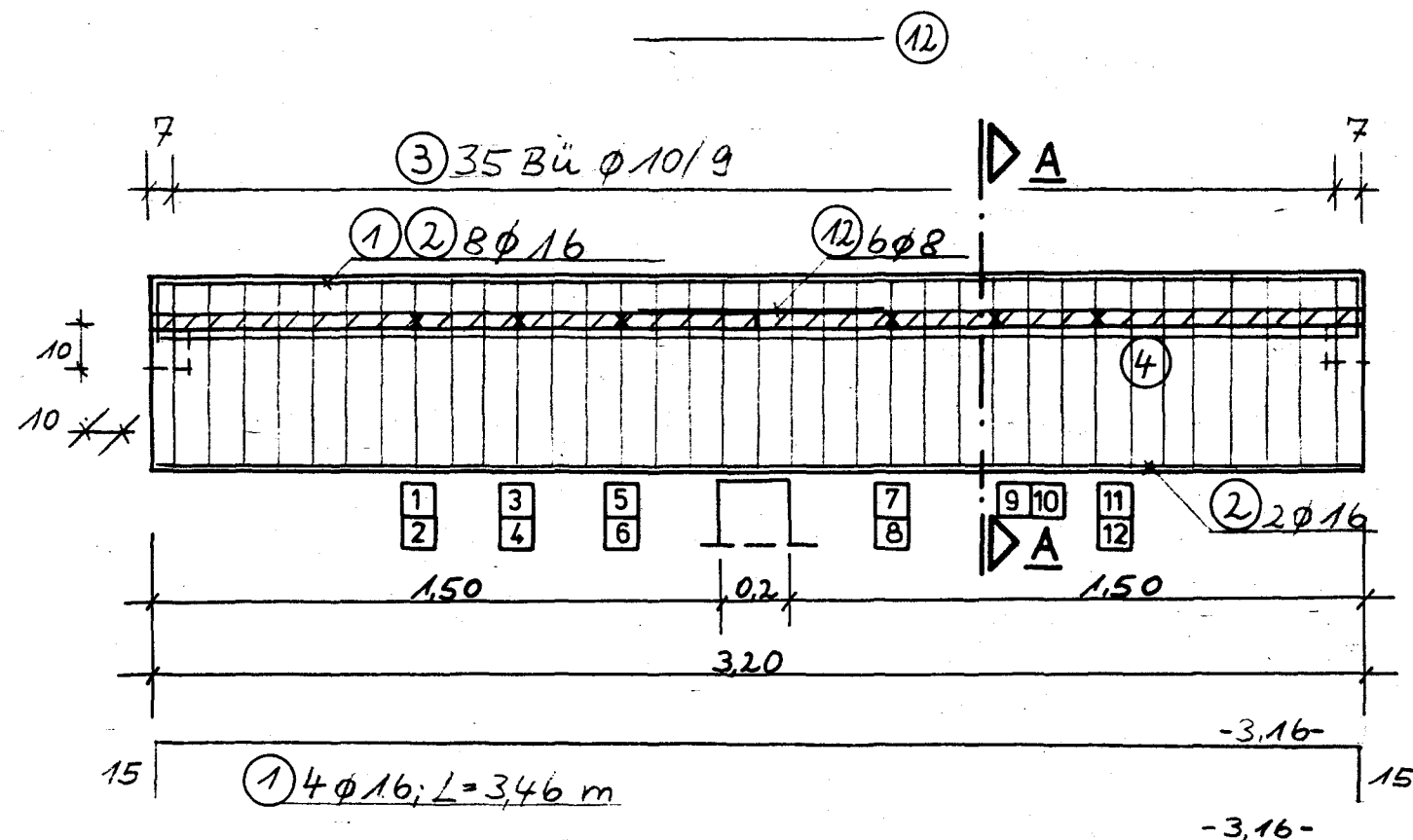
BALKEN : 2cm
PLATTE : 1.5cm

Anm: Die Fi-Platten
sind jeweils
spiegelbildlich
herzustellen!

□ = DMS-Nr.

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ	
VERSUCHSTRÄGER	M-1:20
SERIE 3 - V3	BLATT 11
BETON B25	
BETONSTAHL BSt 500S	

Heute



BETONÜBERDECKUNG:

BALKEN : 2 cm

PLATTE : 1.5 cm

□ = DMS - Nr.

Anm: Die Fi-Platten sind jeweils spiegelbildlich herzustellen?

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU U. BRANDSCHUTZ	
VERSUCHSTRÄGER	M-1:20
SERIE 3 - V4	BLATT 12
BETON B25	
BETONSTAHL BSt 500S	

Kenke

Anlage 13

(Fotos des Versuchsaufbaues Serie 1 - 3)

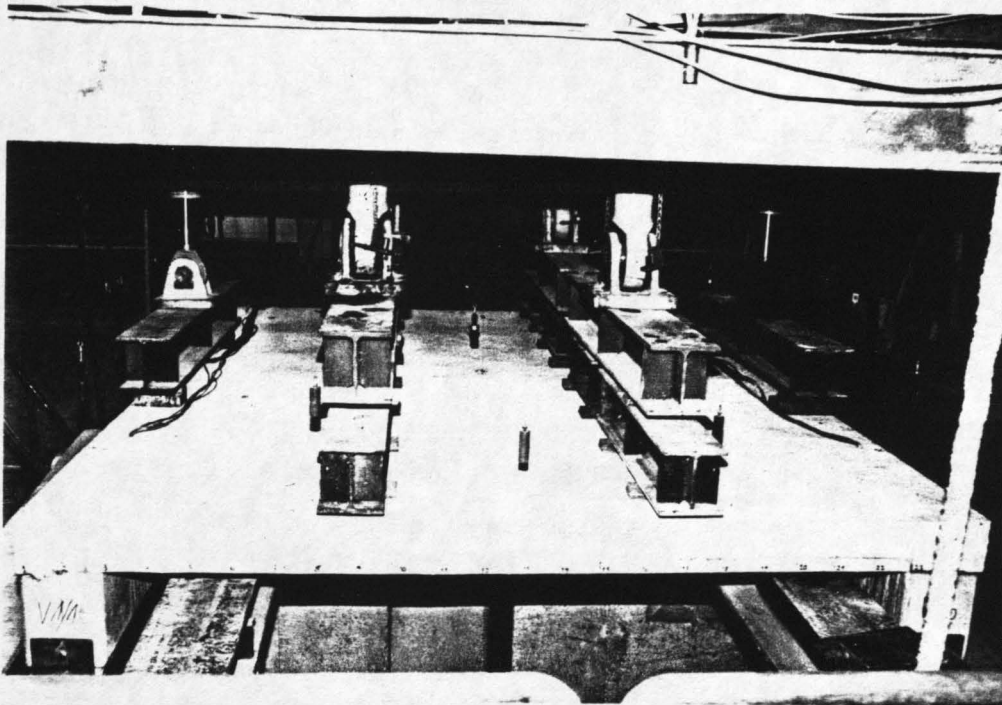


Bild 1:
S1-V1 im Ver-
suchsstand ein-
gebaut



Bild 2:
S2-V4 nach dem
Versagen mit
hochgefahrenen
Pressen

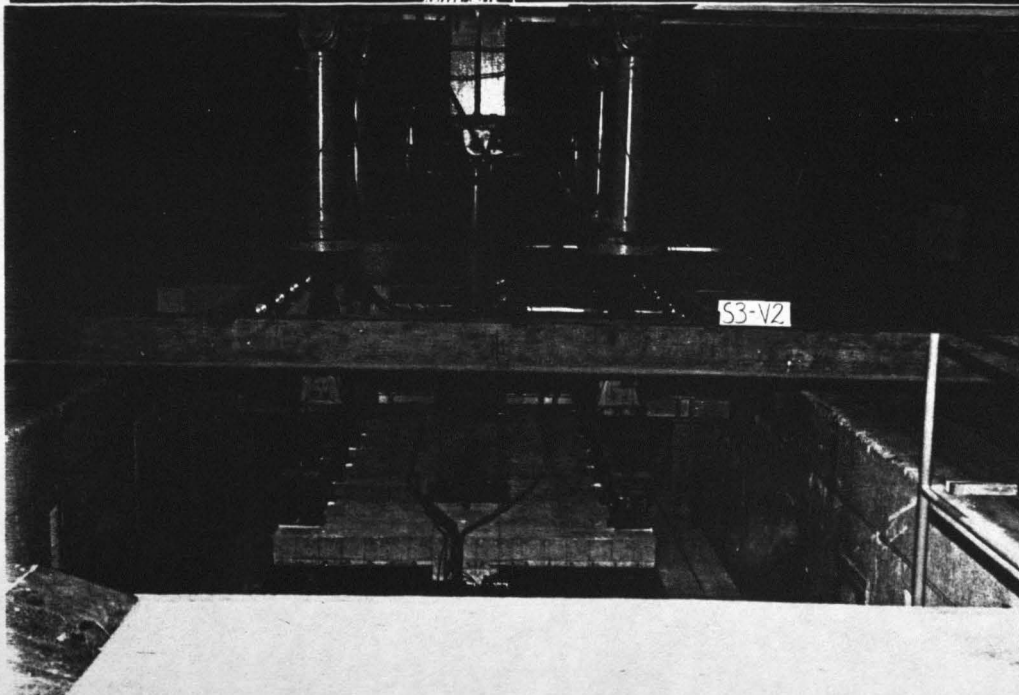
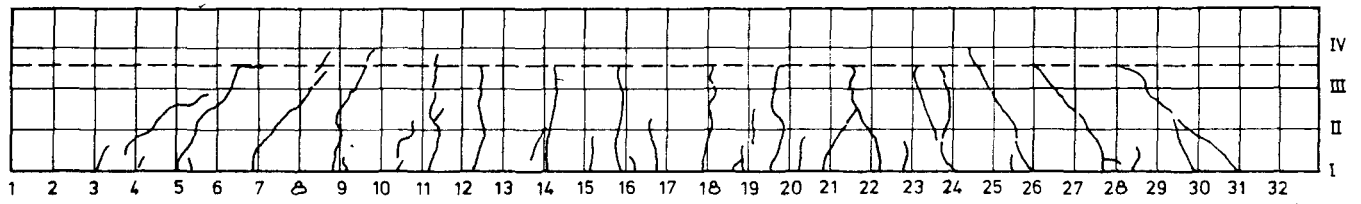


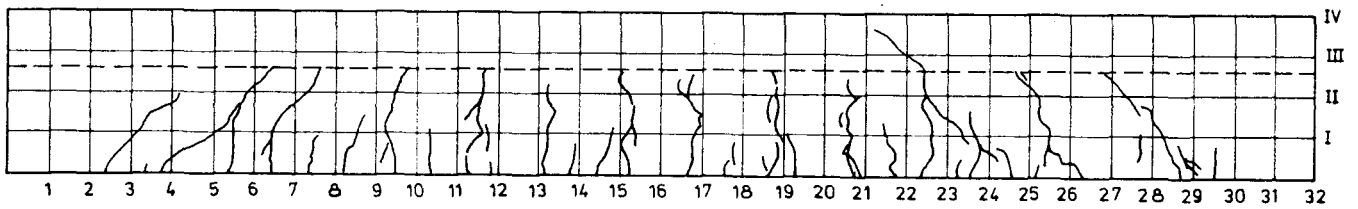
Bild 3:
S3-V2 im einge-
bauten Zustand
mit Belastungs-
einrichtung

Anlage 14

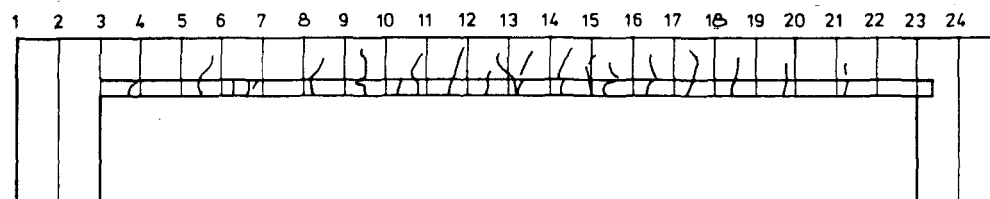
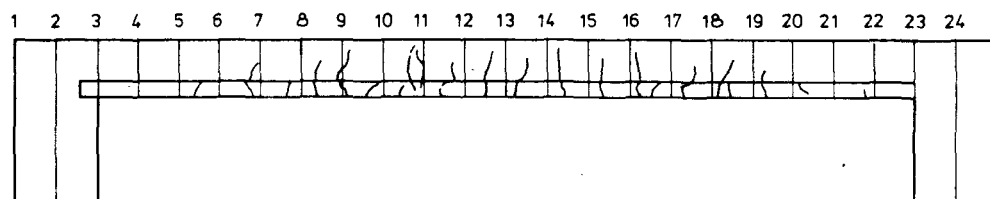
(Rißbilder der Versuchskörper)



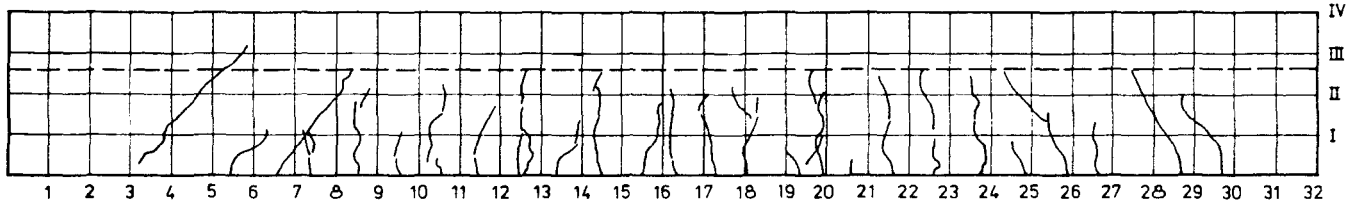
V 1/1



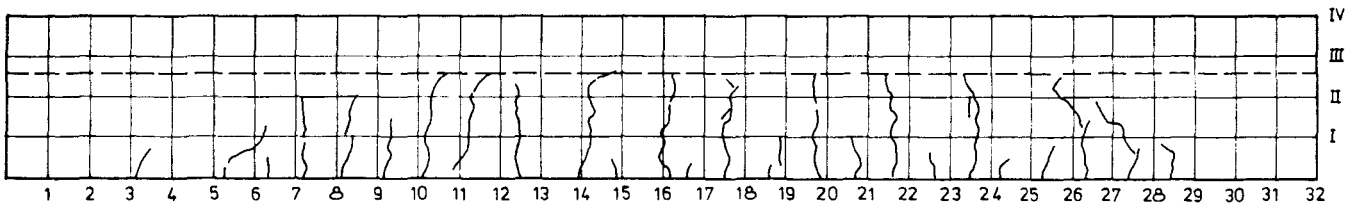
V 1/2



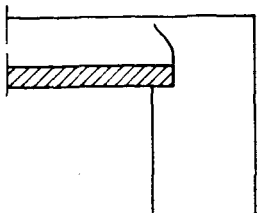
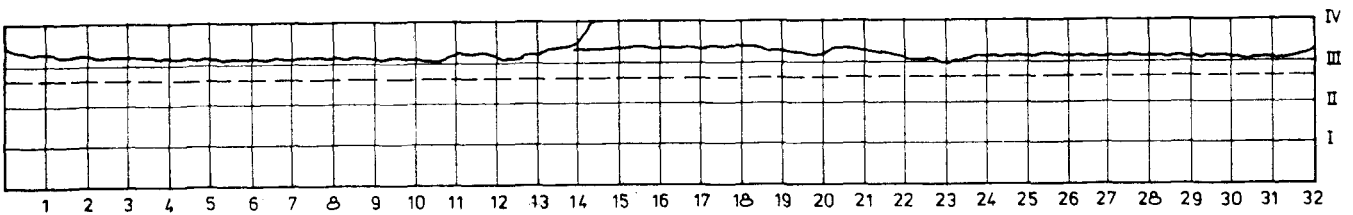
Anlage 14 - Bild 1: Versuch S1-V1 : Rißbild der Randbalken
und der Plattenansicht nach Versuchsende



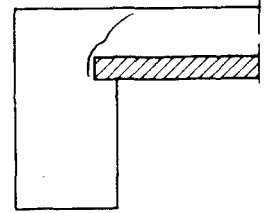
V 2/1



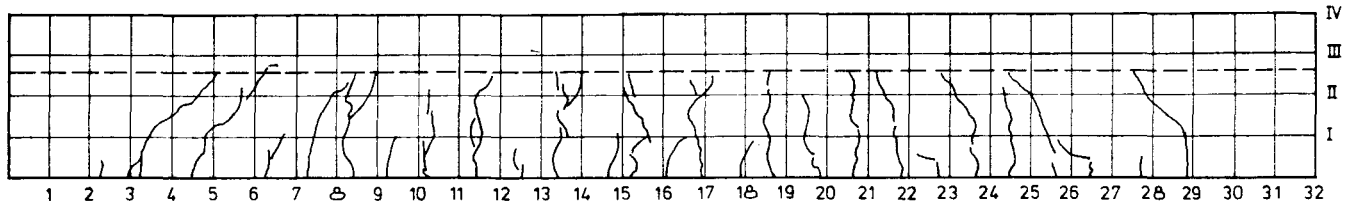
V 2/2



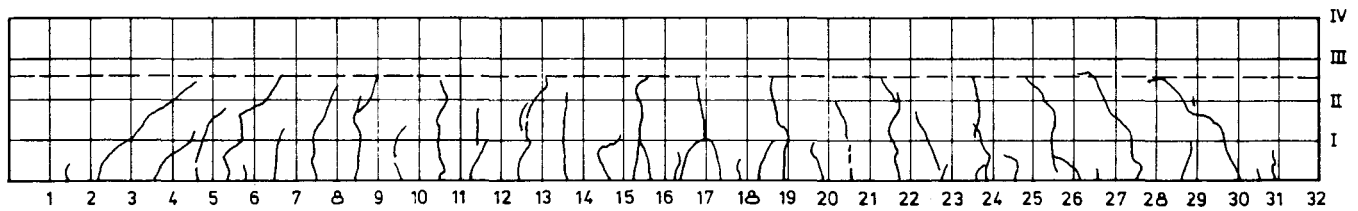
V 2/1 Bruchfuge außen, mit Rißentwicklung an der Oberfläche, diese Risse bilden jedoch nicht die Bruchfuge !



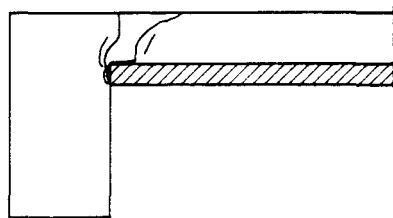
Anlage 14 - Bild 2: Versuch S1-V2 : Rißbild der Randbalken und äußere Bruchfuge Balken S2-V2/1



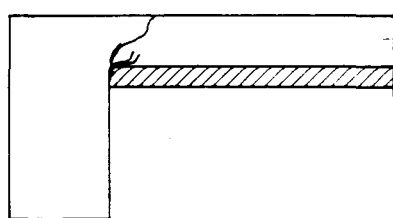
V 3/1



V 3/2



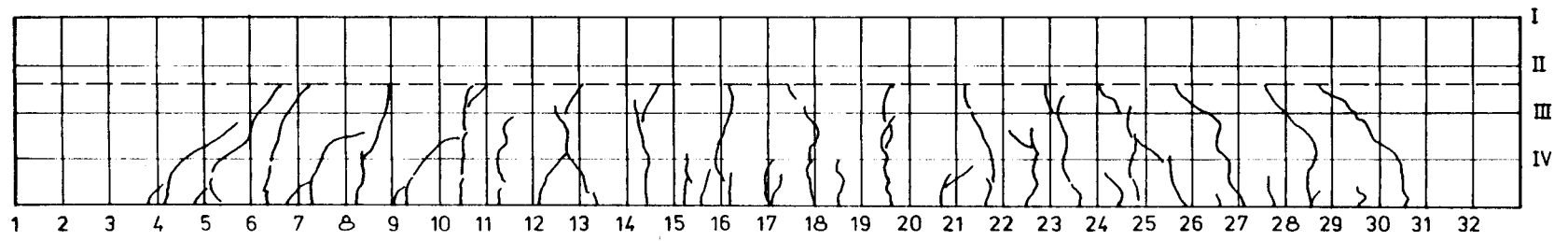
~ Bruchfugen



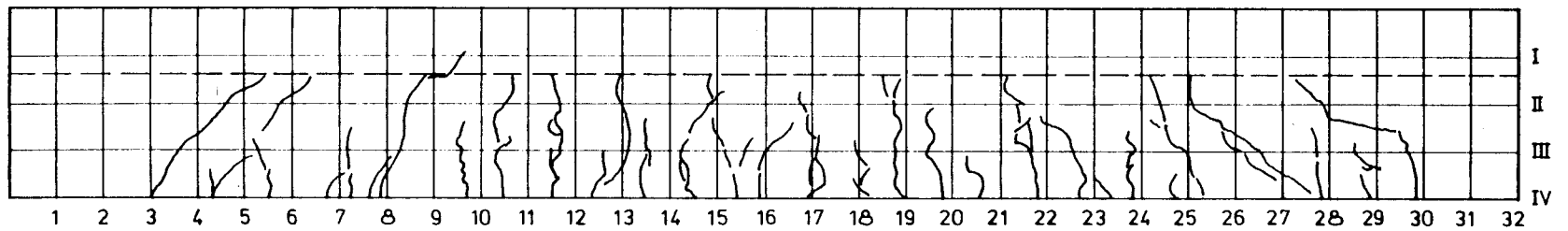
Auflager V 3/2

Anlage 14 - Bild 3: Versuch S1-V3 : Rißbild der Randbalken
Rißbild am Auflager V3/2

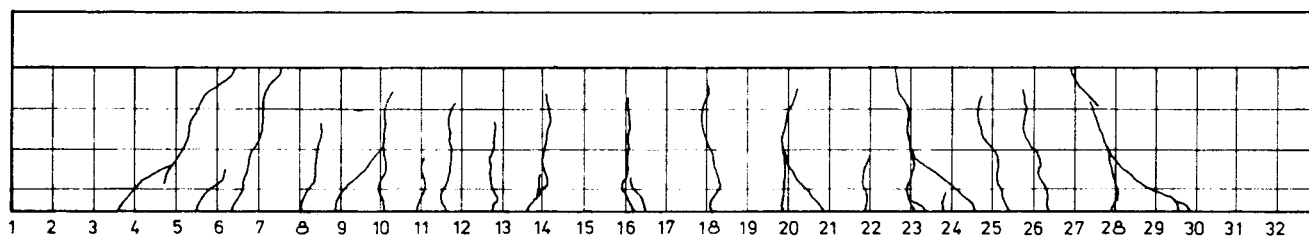
Anlage 14 - Bild 4: Versuch S1-V4 : Ribbild der Randbalken



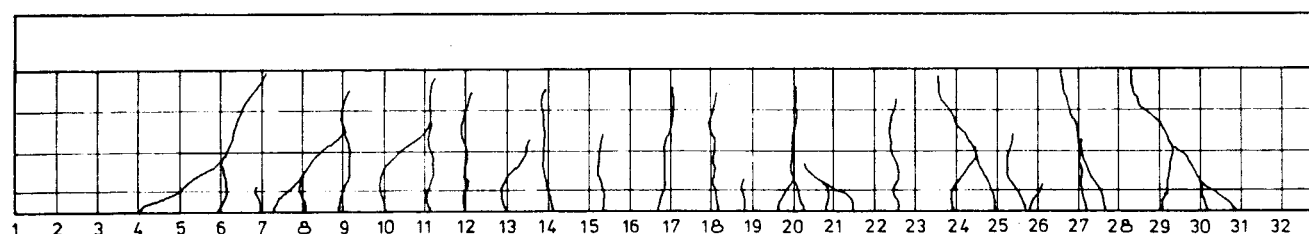
V 4/1



V 4/2

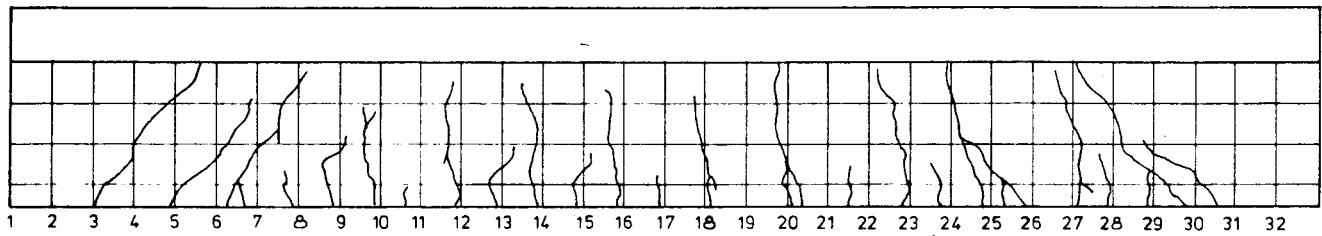


S 2 - V1 - Rißbild Balken
Seite "ohne Auflager"

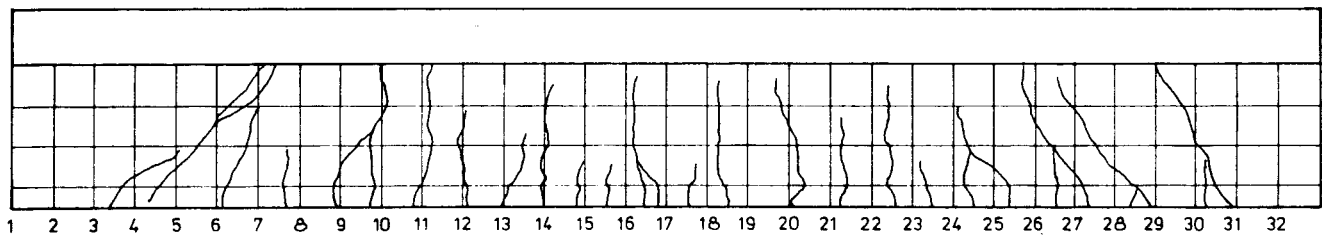


S 2 - V1 - Rißbild Balken
Seite "4 cm Auflager"

Anlage 14 - Bild 5: Versuch S2-V1 : Rißbild des Unterstützungs-
balkens

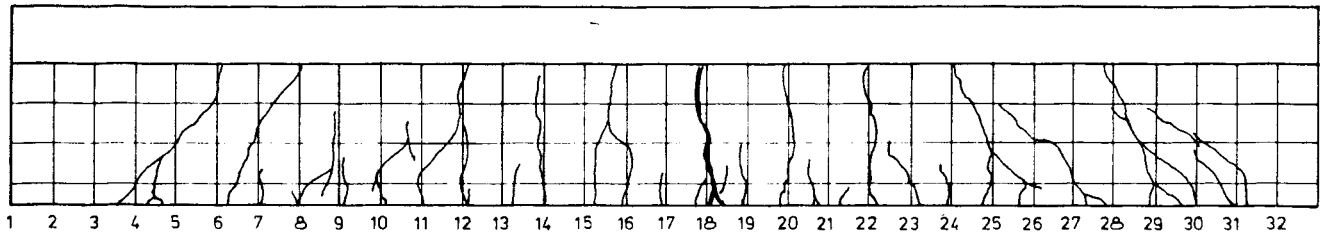


S 2 - V 2 Rißbild Balken
Seite " 2 cm Auflager "

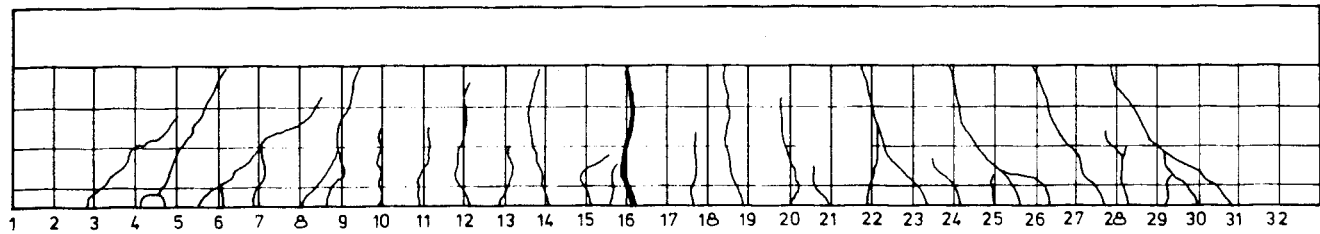


S 2 - V 2 Rißbild Balken
Seite " 4 cm Auflager "

Anlage 14 - Bild 6: Versuch S2-V2 : Rißbild des Unterstützungs-
balkens

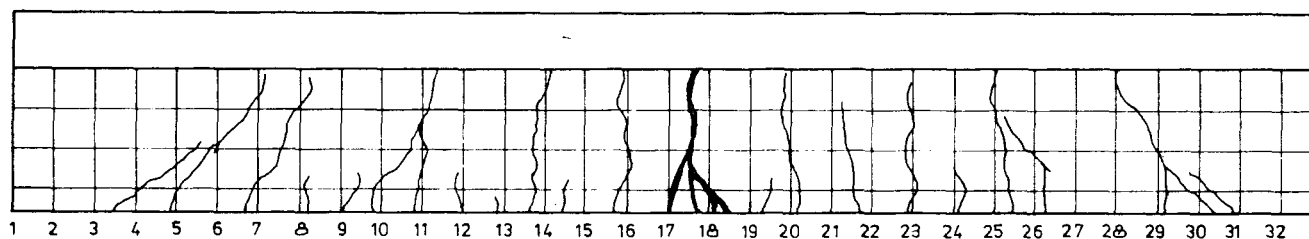


S 2 - V 3 Rißbild Balken
Seite " 0 cm Auflager "

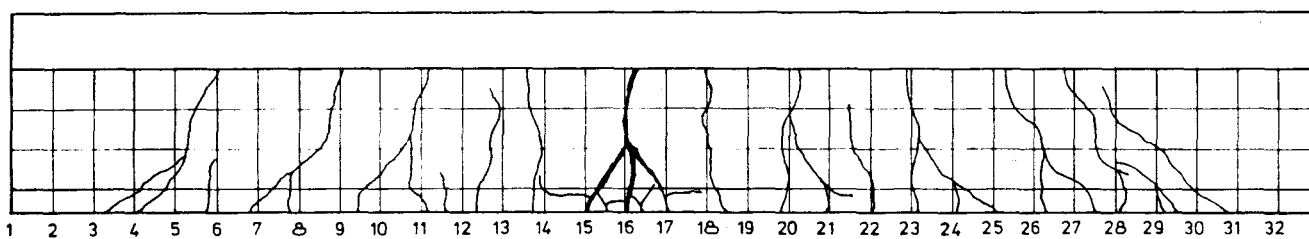


S 2 - V 3 Rißbild Balken
Seite " 4 cm Auflager "

Anlage 14 - Bild 7: Versuch S2-V3 : Rißbild des Unterstützungs-
balkens

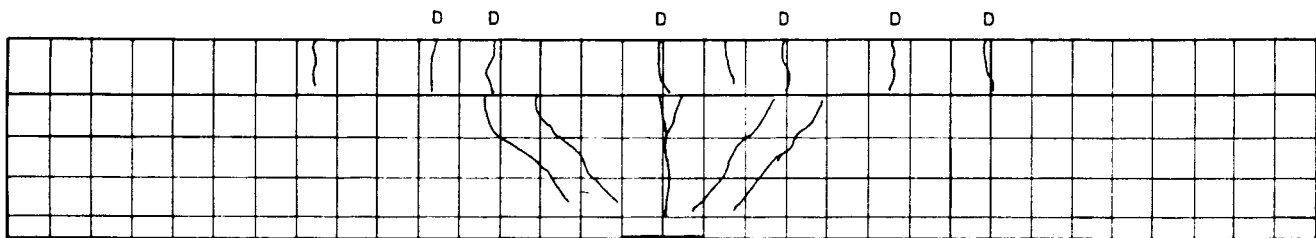


Versuch S 2 - V 4
Seite "2 cm Auflager"



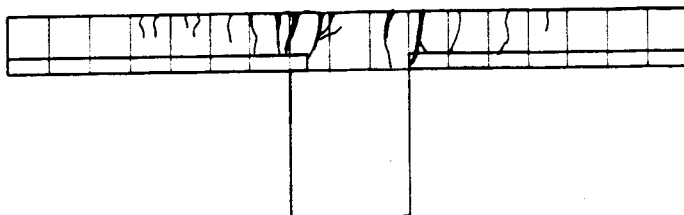
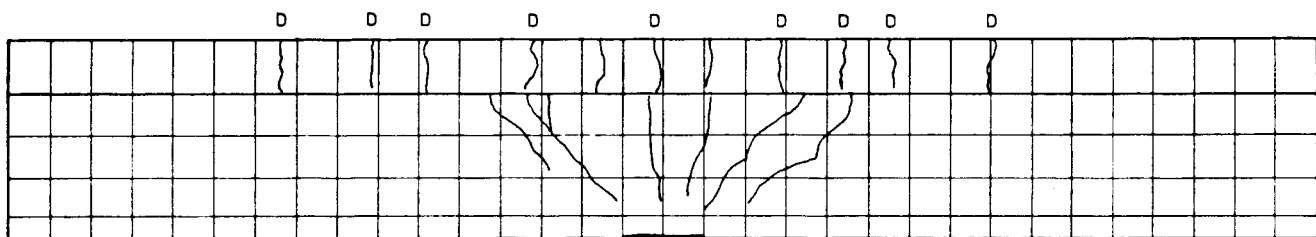
Versuch S 2 - V 4
Seite "4 cm Auflager"

Anlage 14 - Bild 8: Versuch S2-V4 : Reißbild des Unterstützungs-
balkens

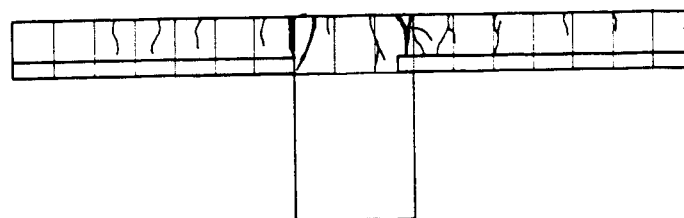


Versuch S 3 - V 1
Seite " 0 cm Auflager "

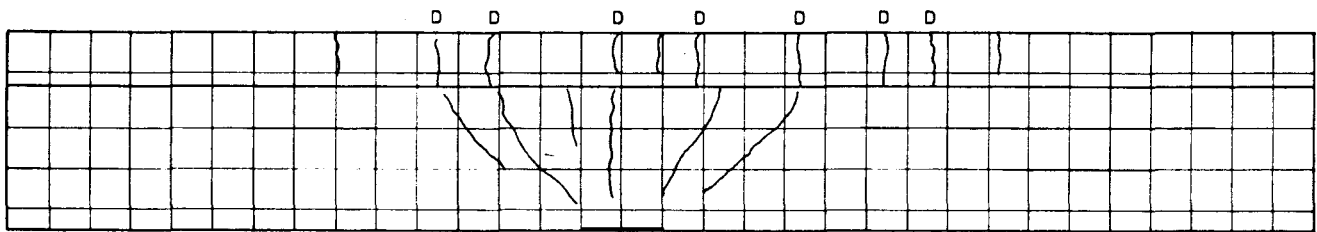
D = Durchriß der Platte



Versuch S 3 - V 1
Seite " 4 cm Auflager "

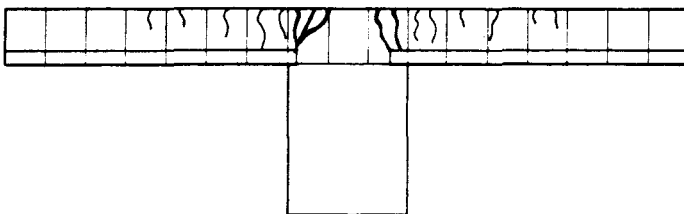
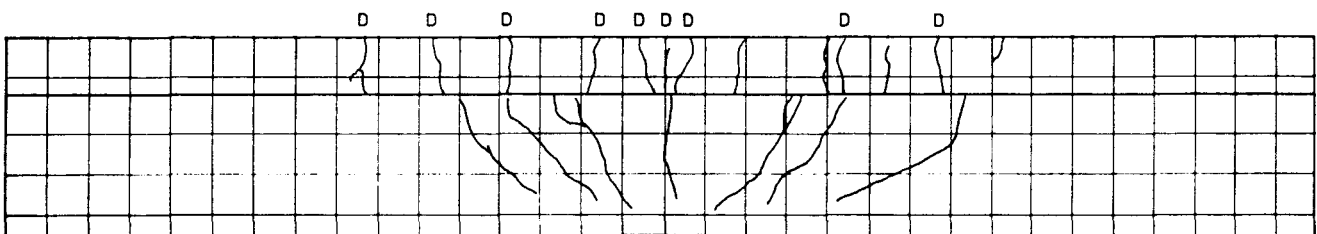


Anlage 14 - Bild 9: Versuch S3-V1 : Rißbild des Unterstützungsbalkens und in der Plattenansicht

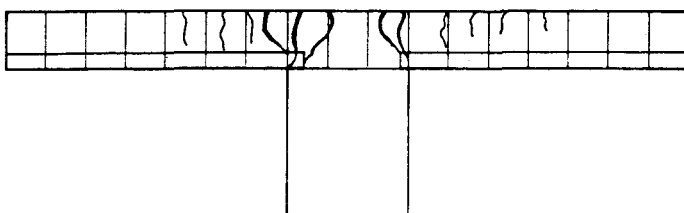


Versuch S 3 - V 2
Seite " 2 cm Auflager "

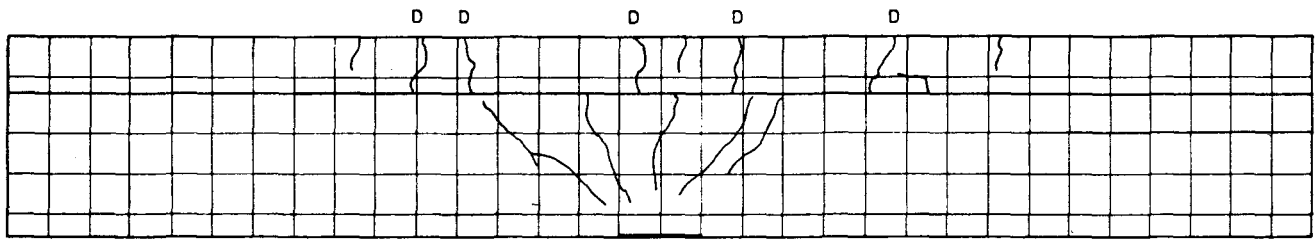
D = Durchriß der Platte



Versuch S 3 - V 2
Seite " 4 cm Auflager "

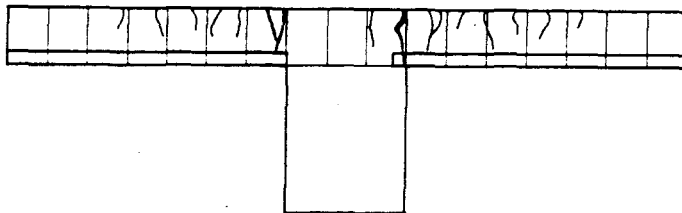
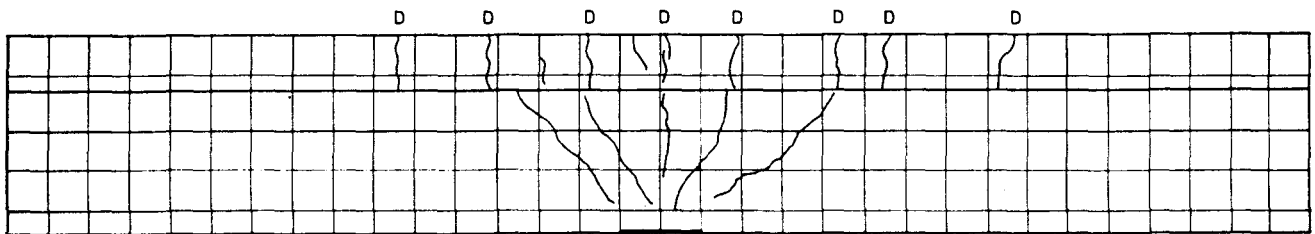


Anlage 14 - Bild 10: Versuch S3-V2 : Rißbild des Unterstützungs-
balkens und in der Plattenansicht

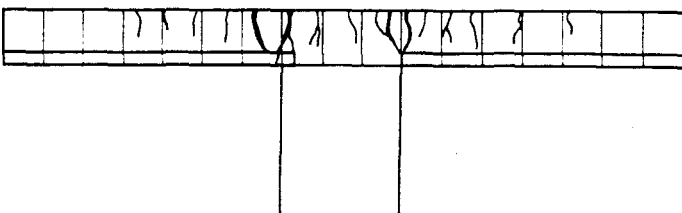


Versuch S 3 - V 3
Seite "0 cm Auflager"

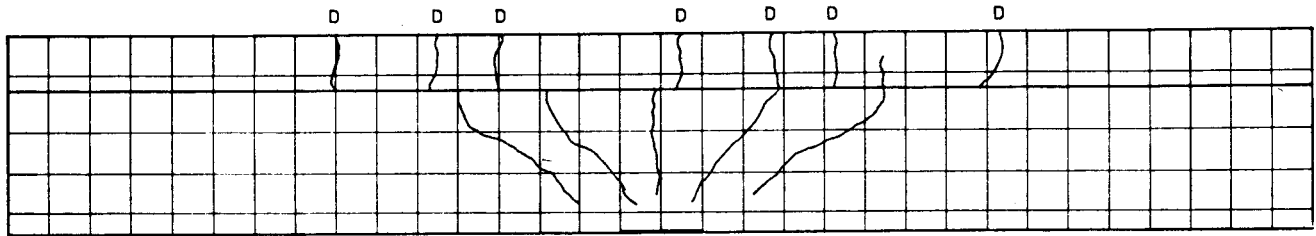
D = Durchriß der Platte



Versuch S 3 - V 3
Seite "4 cm Auflager"

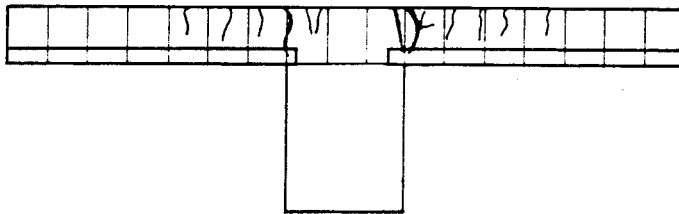
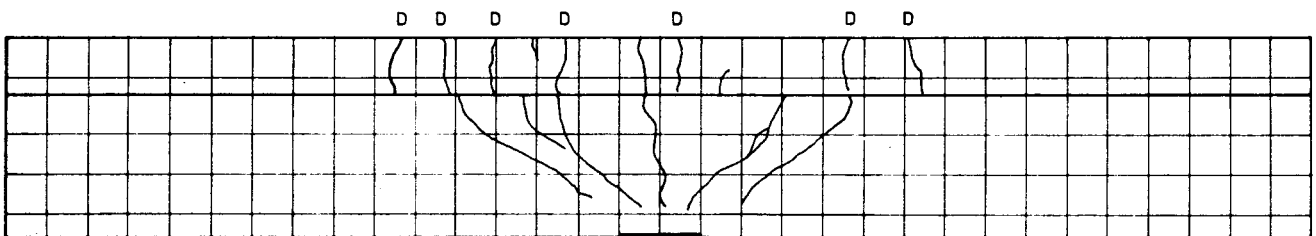


Anlage 14 - Bild 11: Versuch S3-V3 : Rißbild des Unterstützungs-
balkens und in der Plattenansicht

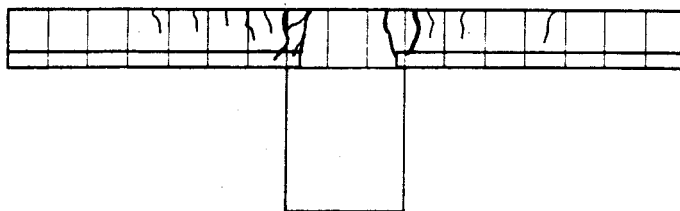


Versuch S3-V4
Seite " 2 cm Auflager "

D = Durchriß der Platte



Versuch S3-V4
Seite " 4 cm Auflager "



Anlage 14 - Bild 12: Versuch S3-V4 : Rißbild des Unterstützungsbalkens und in der Plattenansicht

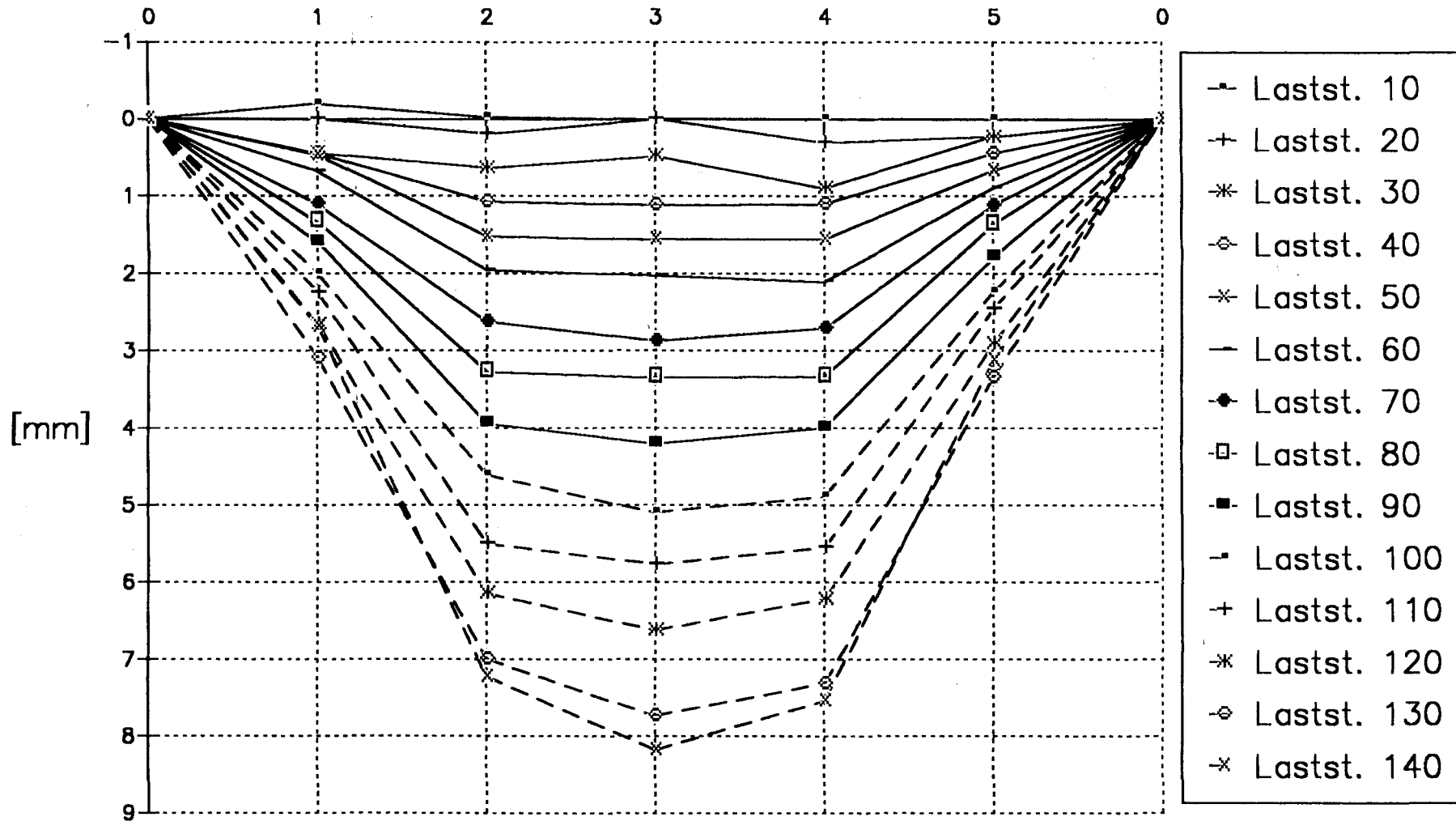
Anlage 15

(Diagramme der gemessenen Versuchskörperdurchbiegungen und der Betonstahl-Dehnungsmessungen)

Versuch S1-V1

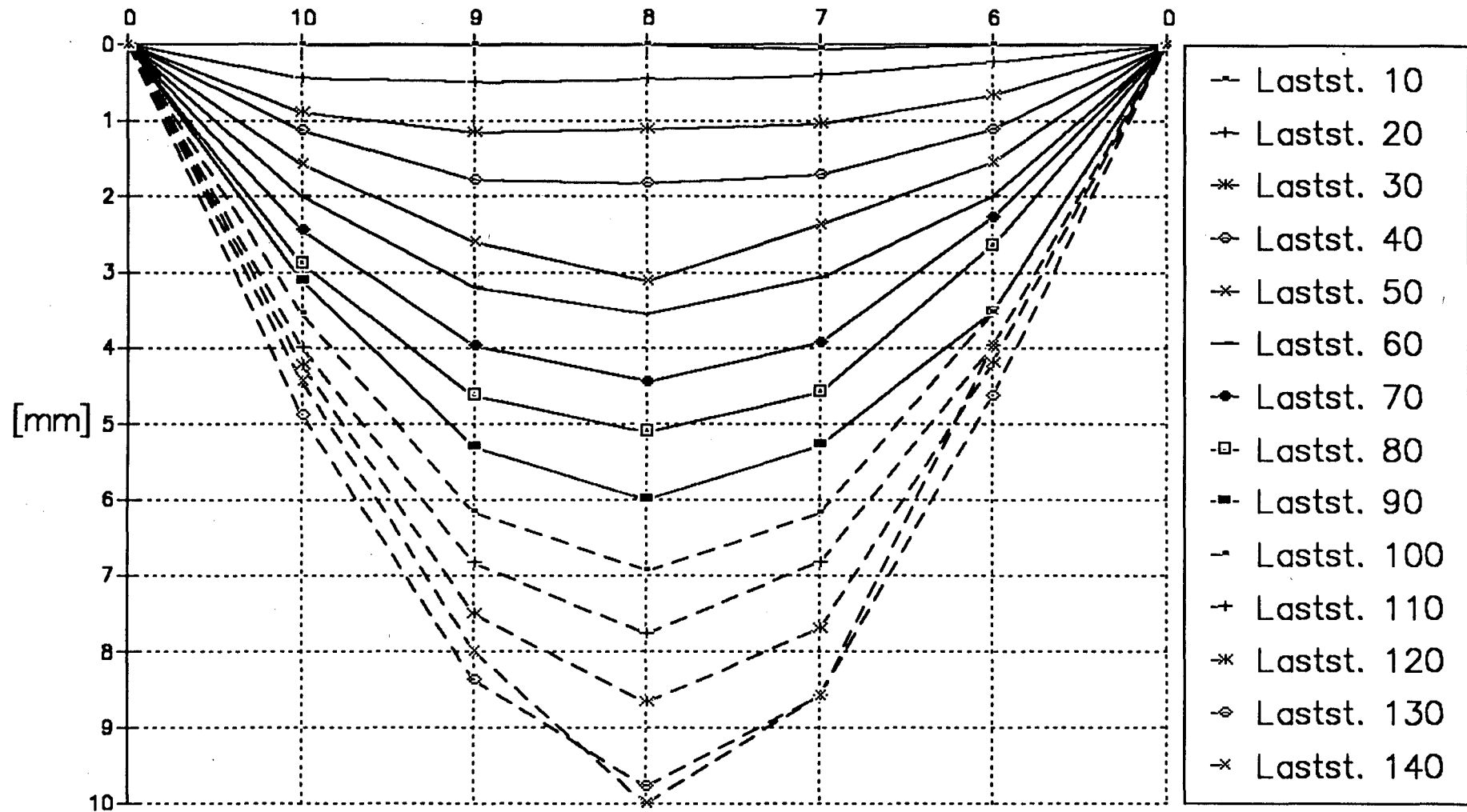
Versuch S1-V1 – Durchbiegungen Balken V1/1

Meßstelle

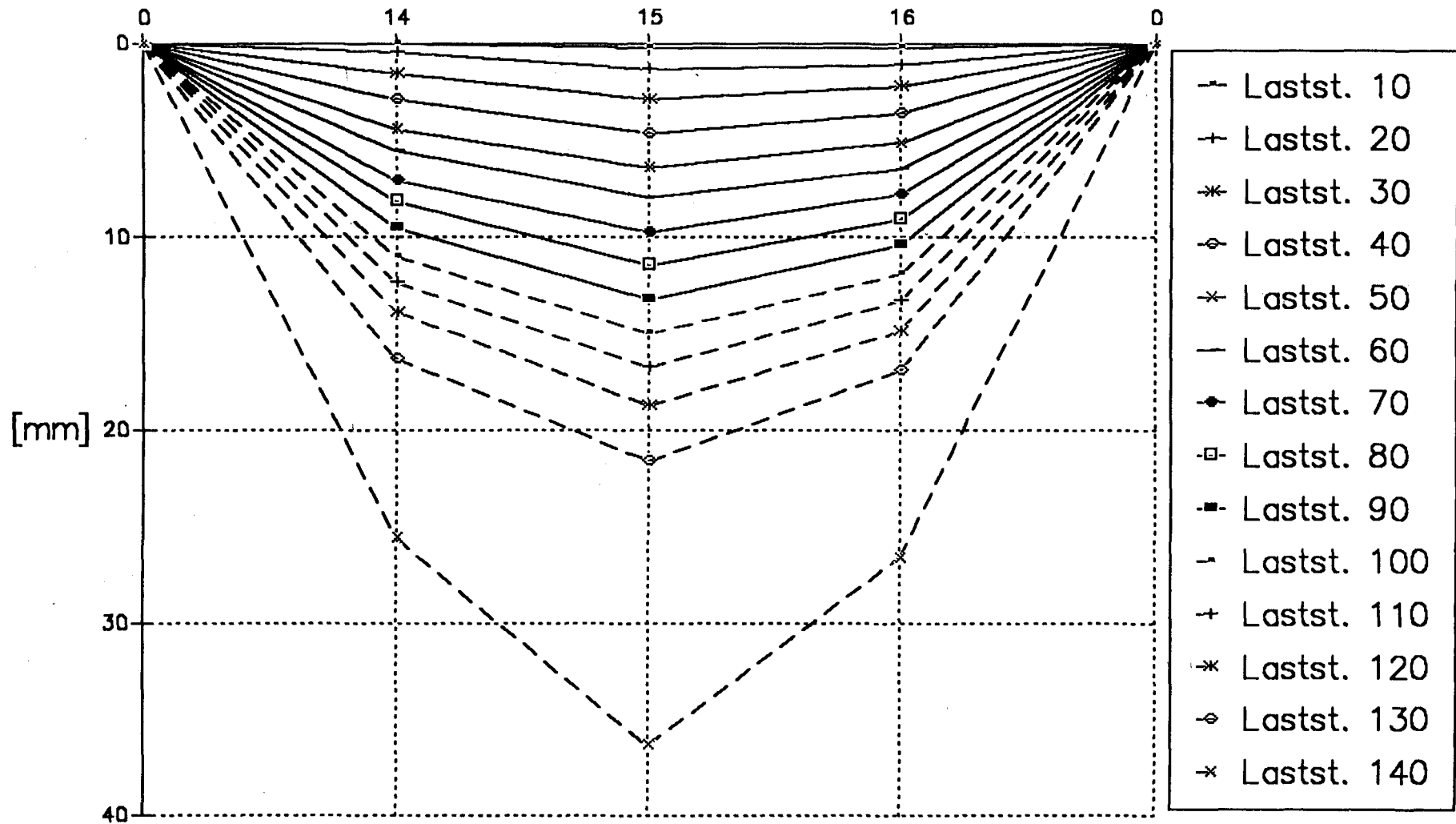


Versuch S1-V1 – Durchbiegungen Balken V1/2

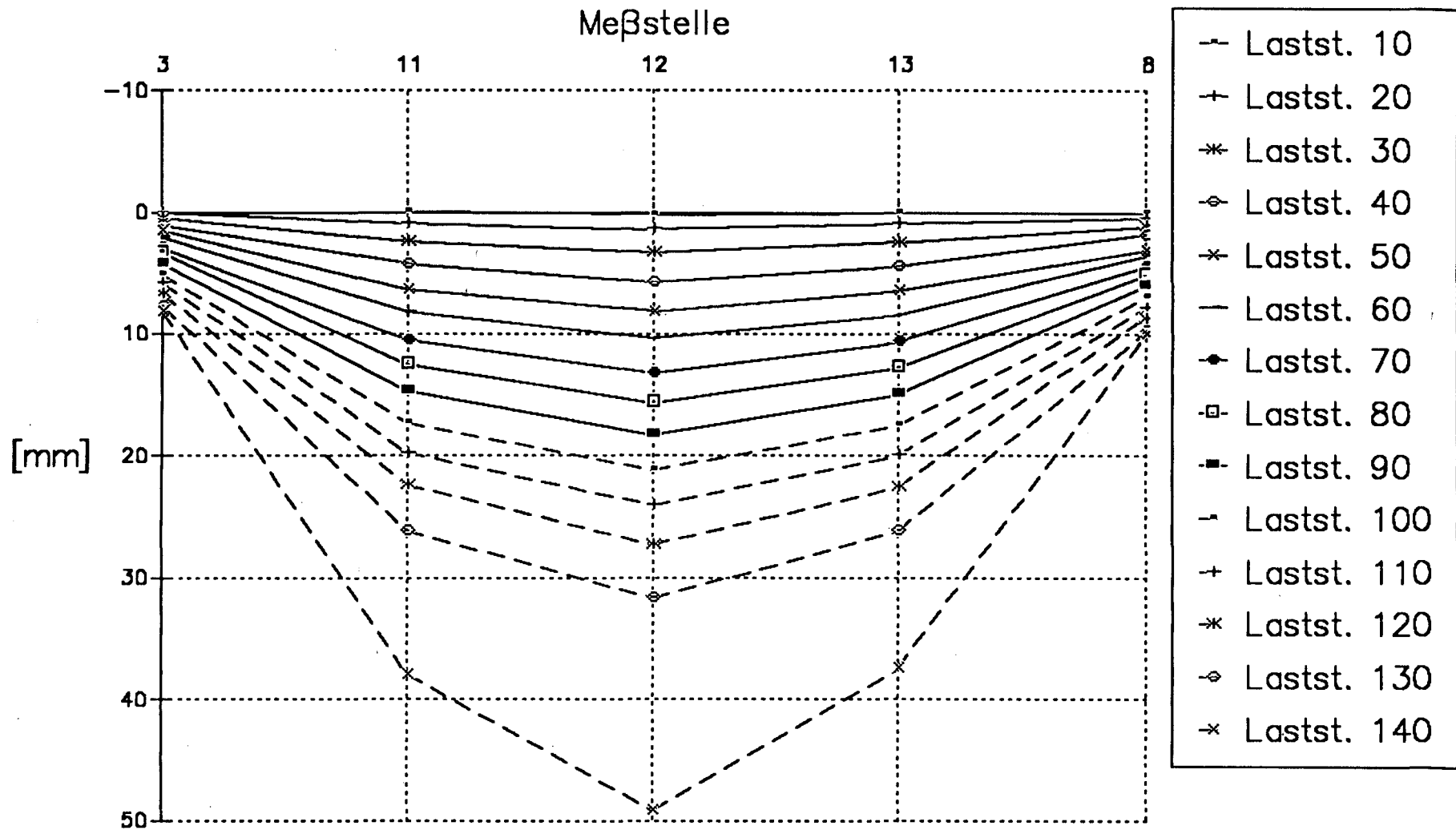
Meßstelle



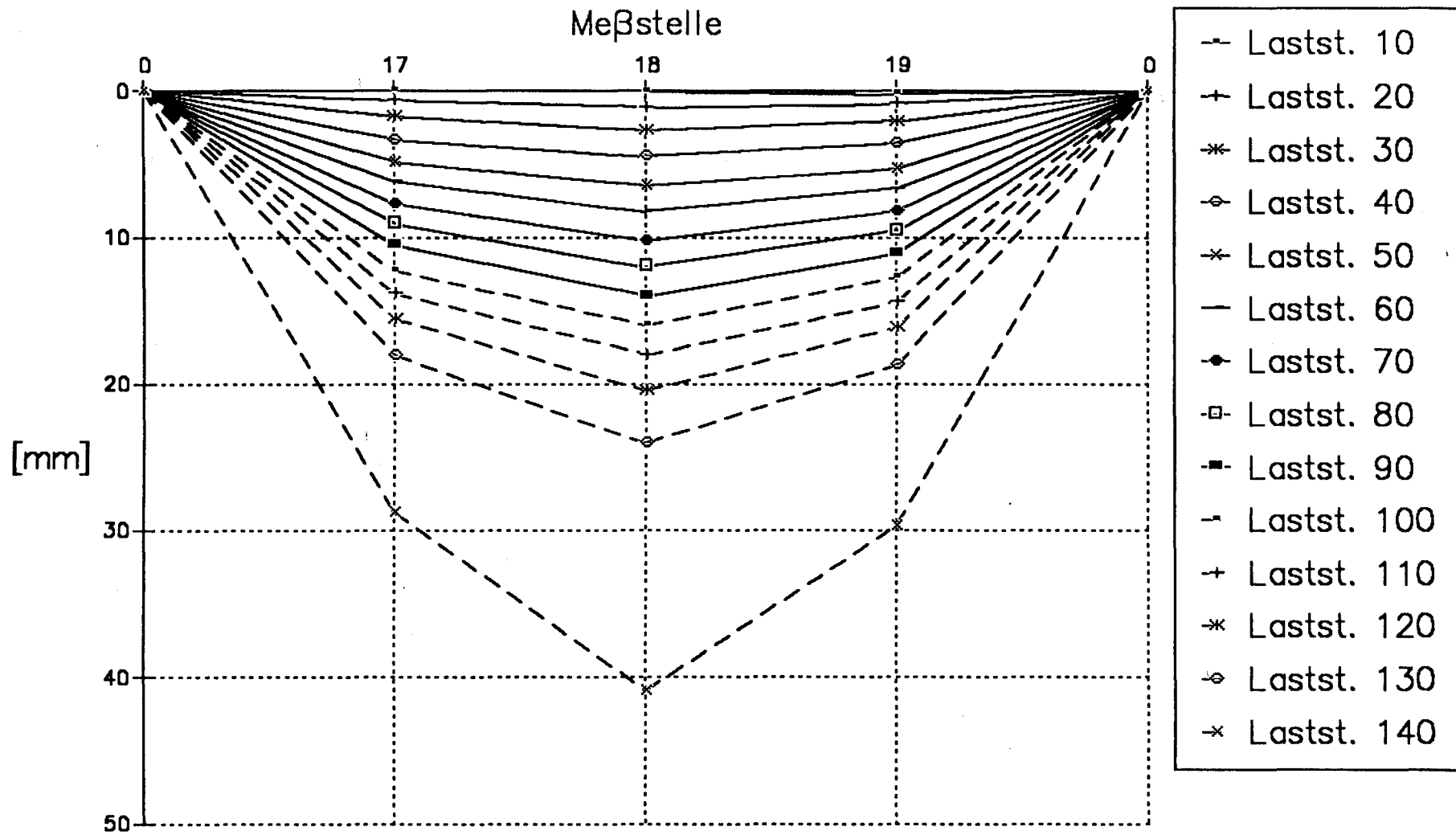
Versuch S1-V1 – Durchbiegungen der Platte – Meßstelle 14–16 Meßstelle



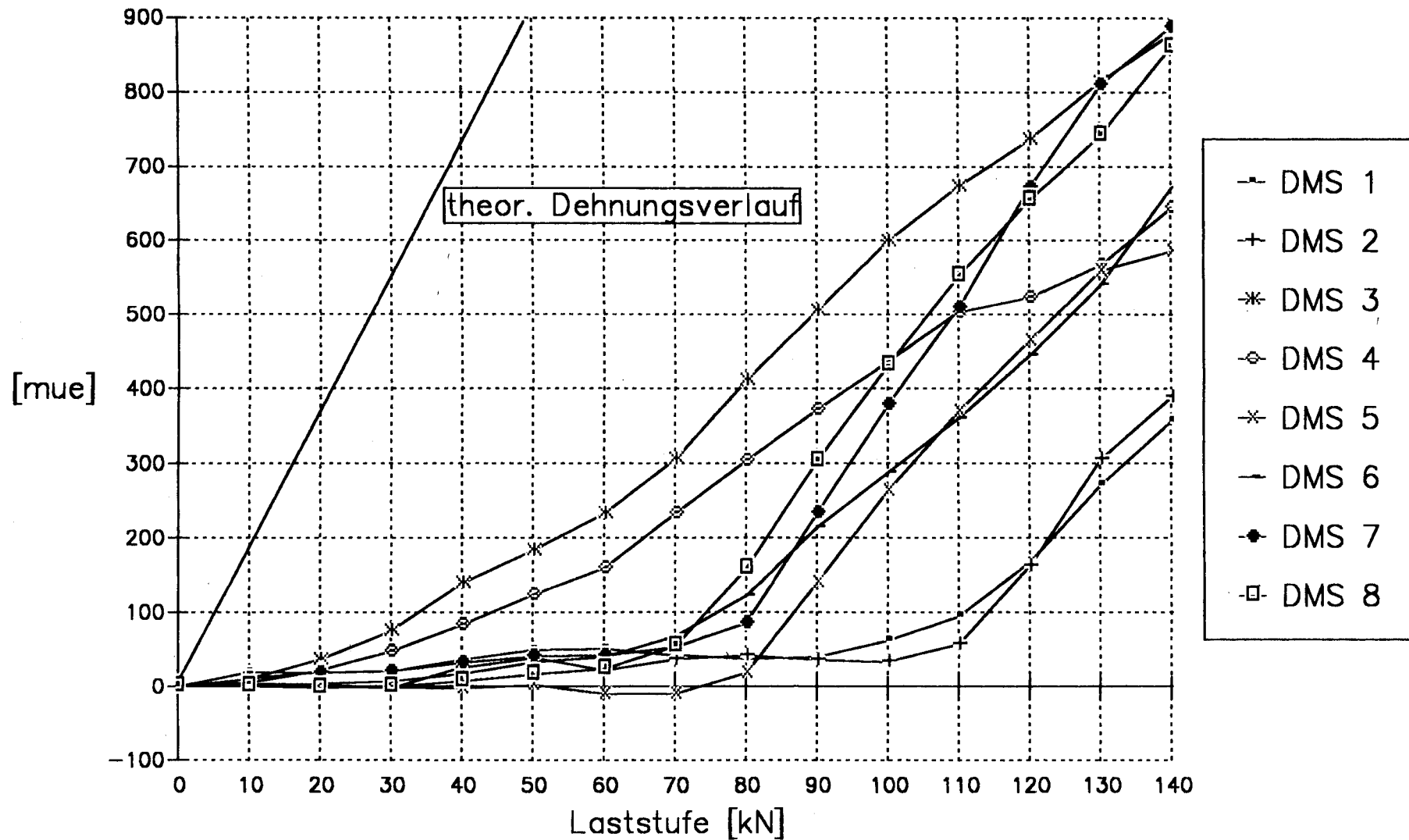
Versuch S1-V1 – Durchbiegungen der Platte – Meßstellen 3,11–13,8



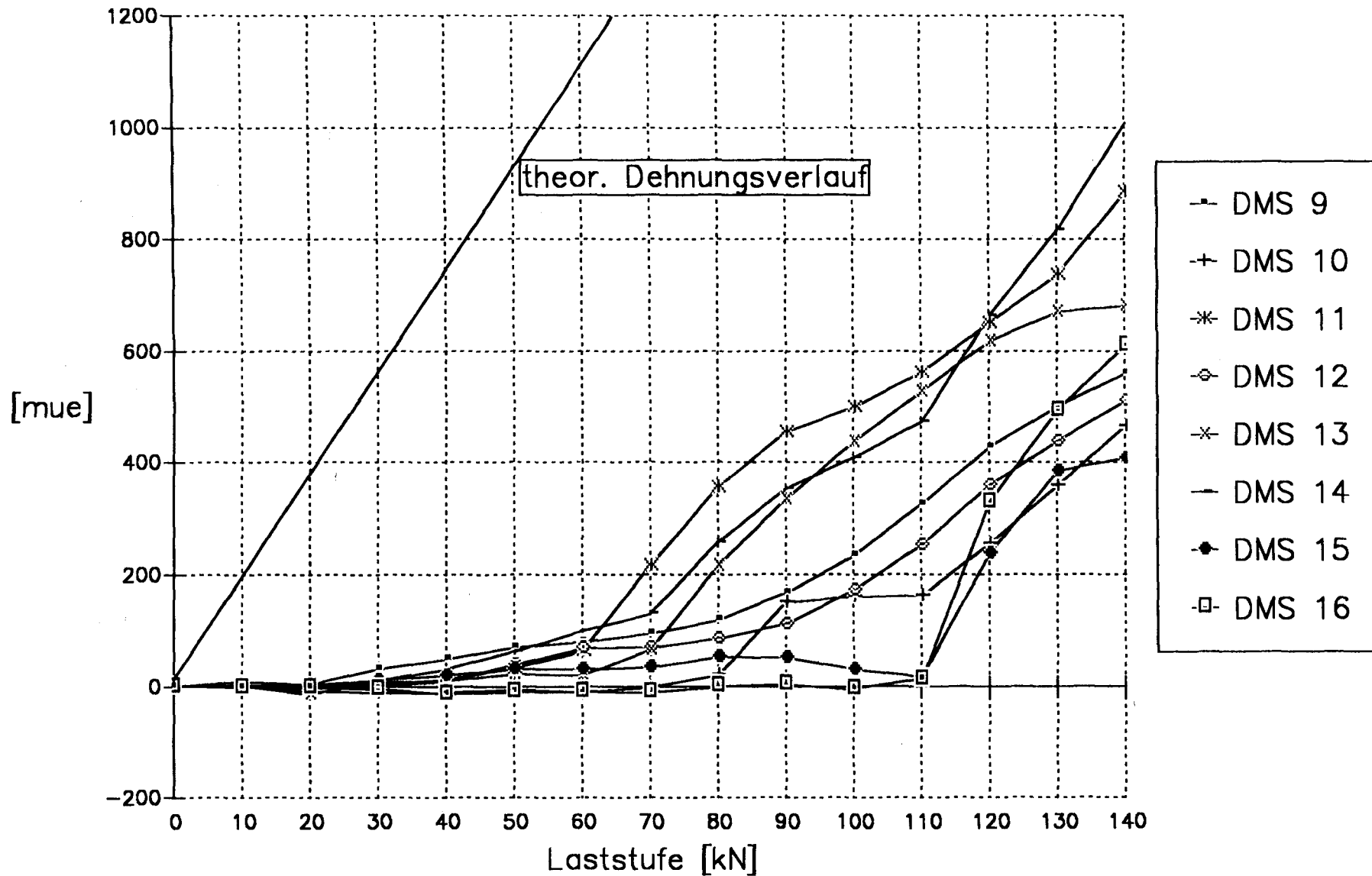
Versuch S1-V1 – Durchbiegungen der Platte – Meßstelle 17-19



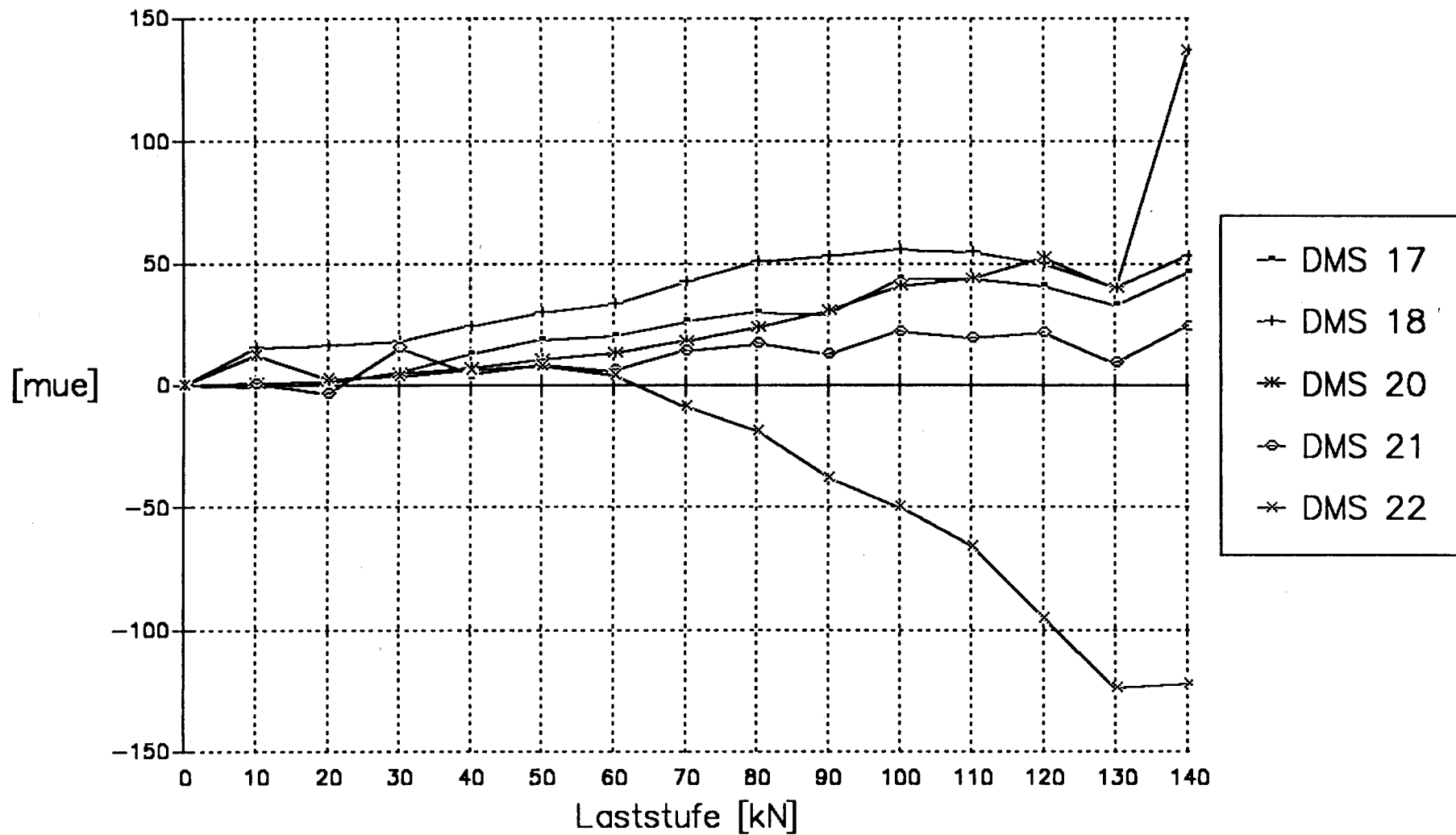
Versuch S1-V1 – DMS (1–8) der Bügel



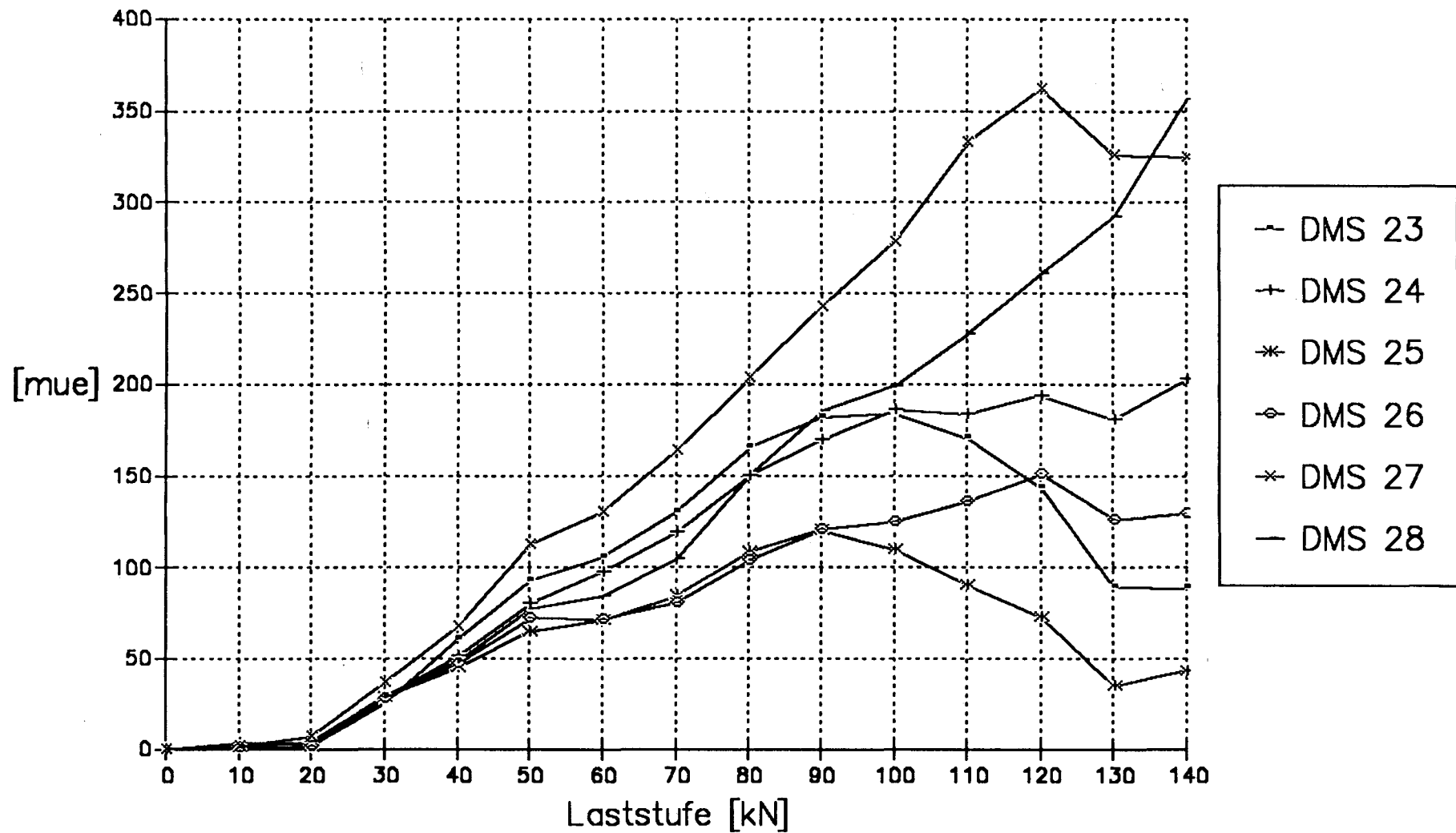
Versuch S1-V1 – DMS (9–16) der Bügel



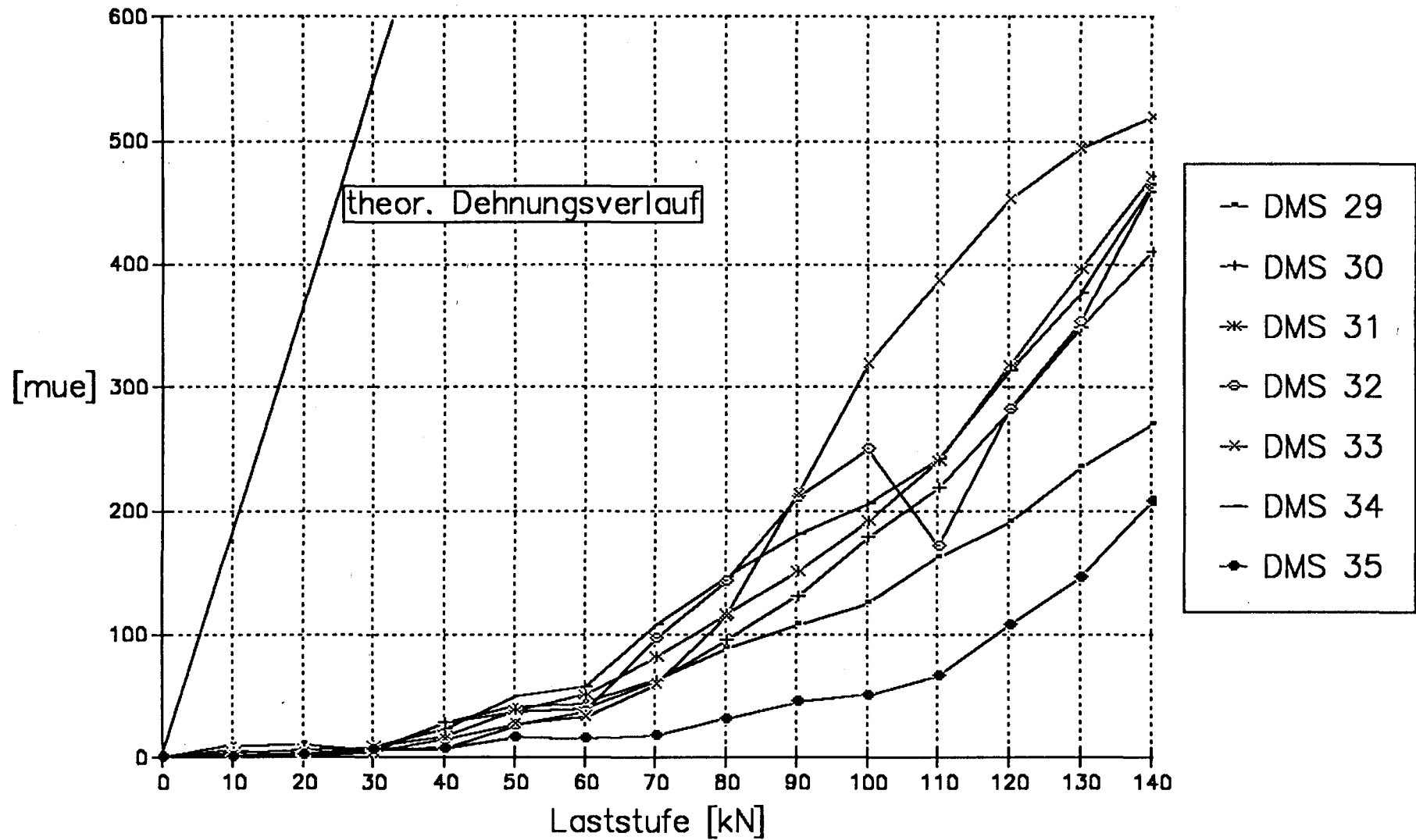
Versuch S1-V1 – Balken V1/1–DMS (17–22) der Endverankerungen



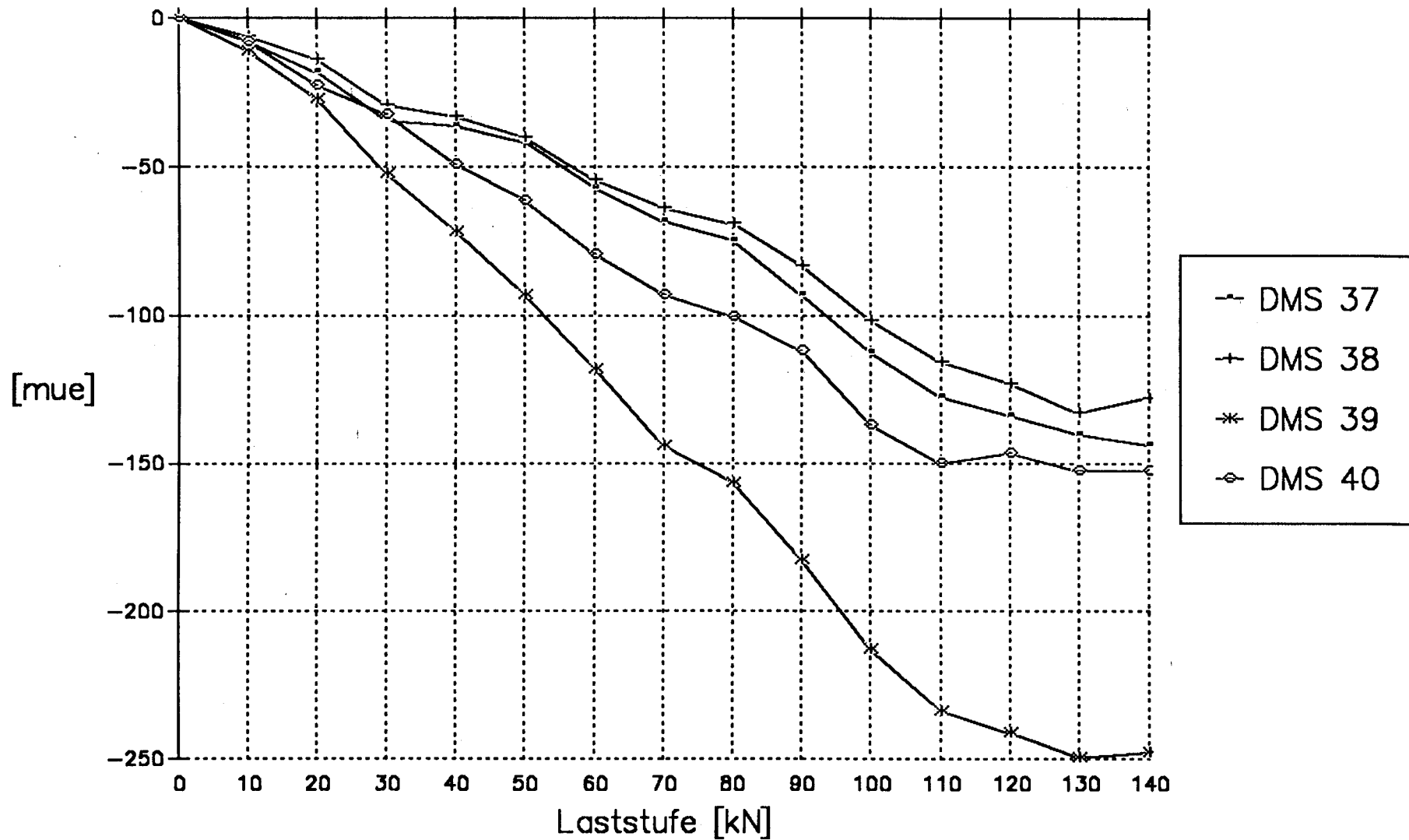
Versuch S1-V1 – Balken V1/2-DMS (23–28) der Endverankerungen



Versuch S1-V1 – DMS (29–35) der Gitterträgerdiagonalen



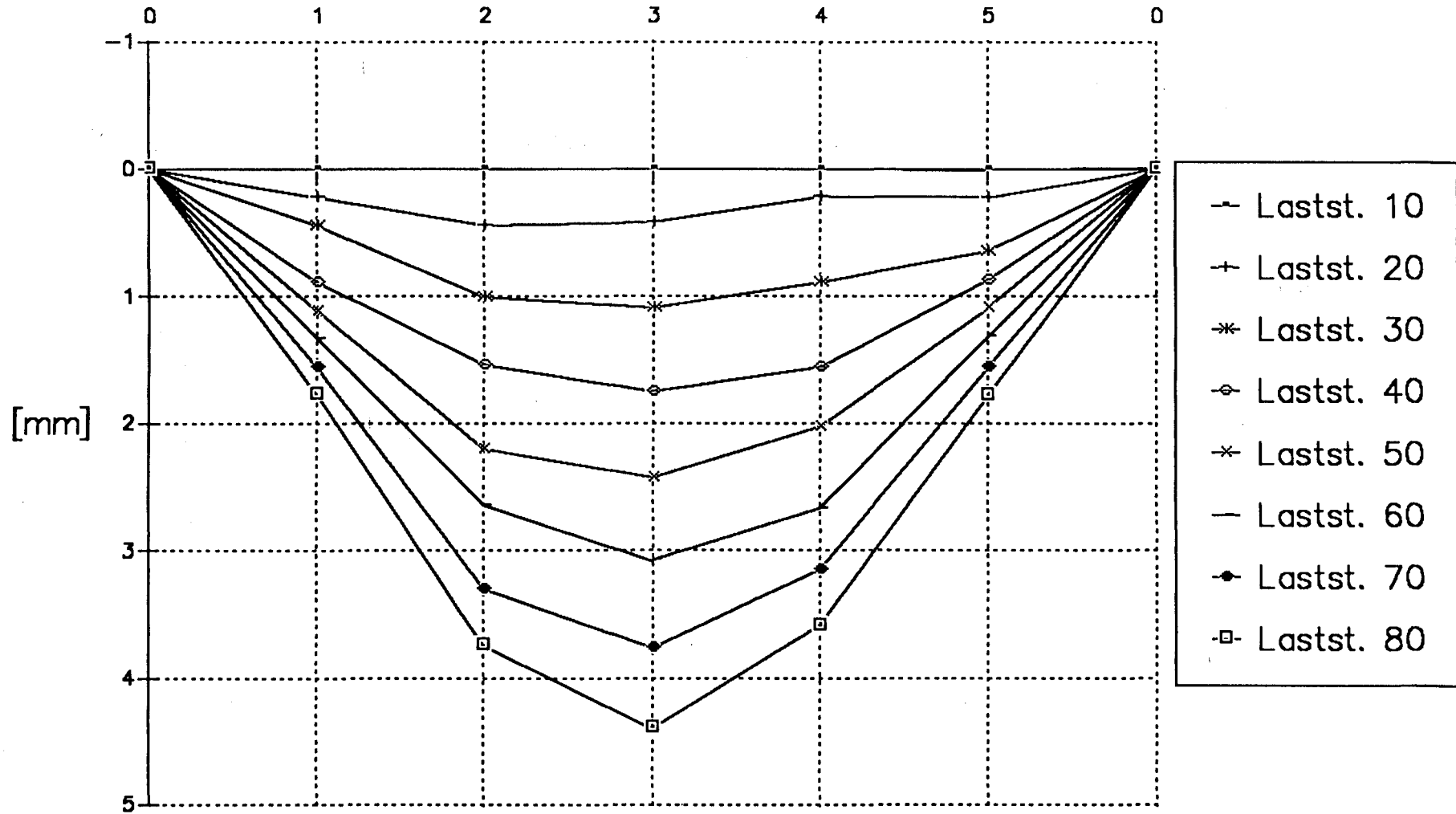
Versuch S1-V1 – DMS (37–40) der Bügelabbiegungen



Versuch S1 – V2

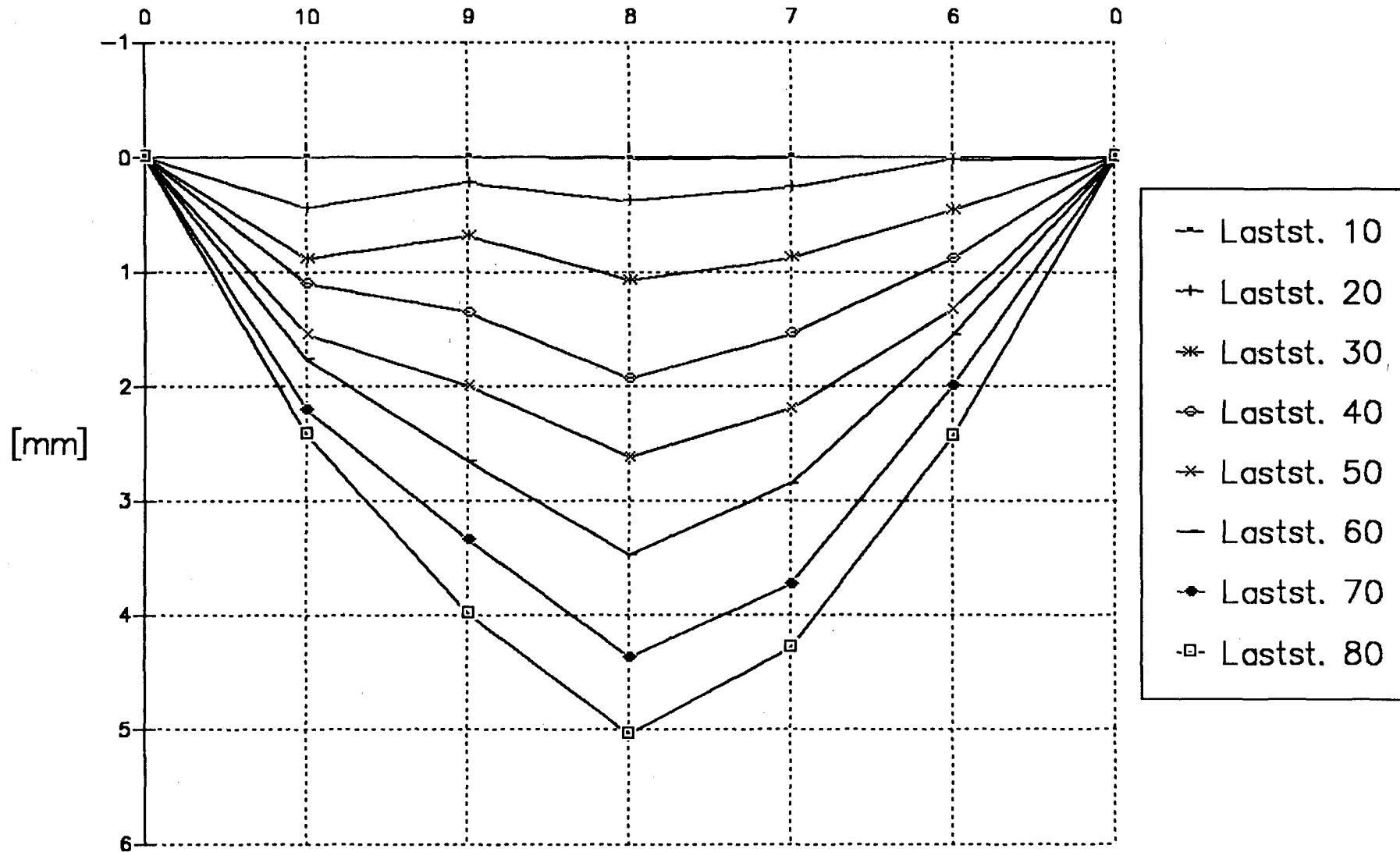
Versuch S1-V2/1 – Durchbiegungen Balken V2/1

Meßstelle

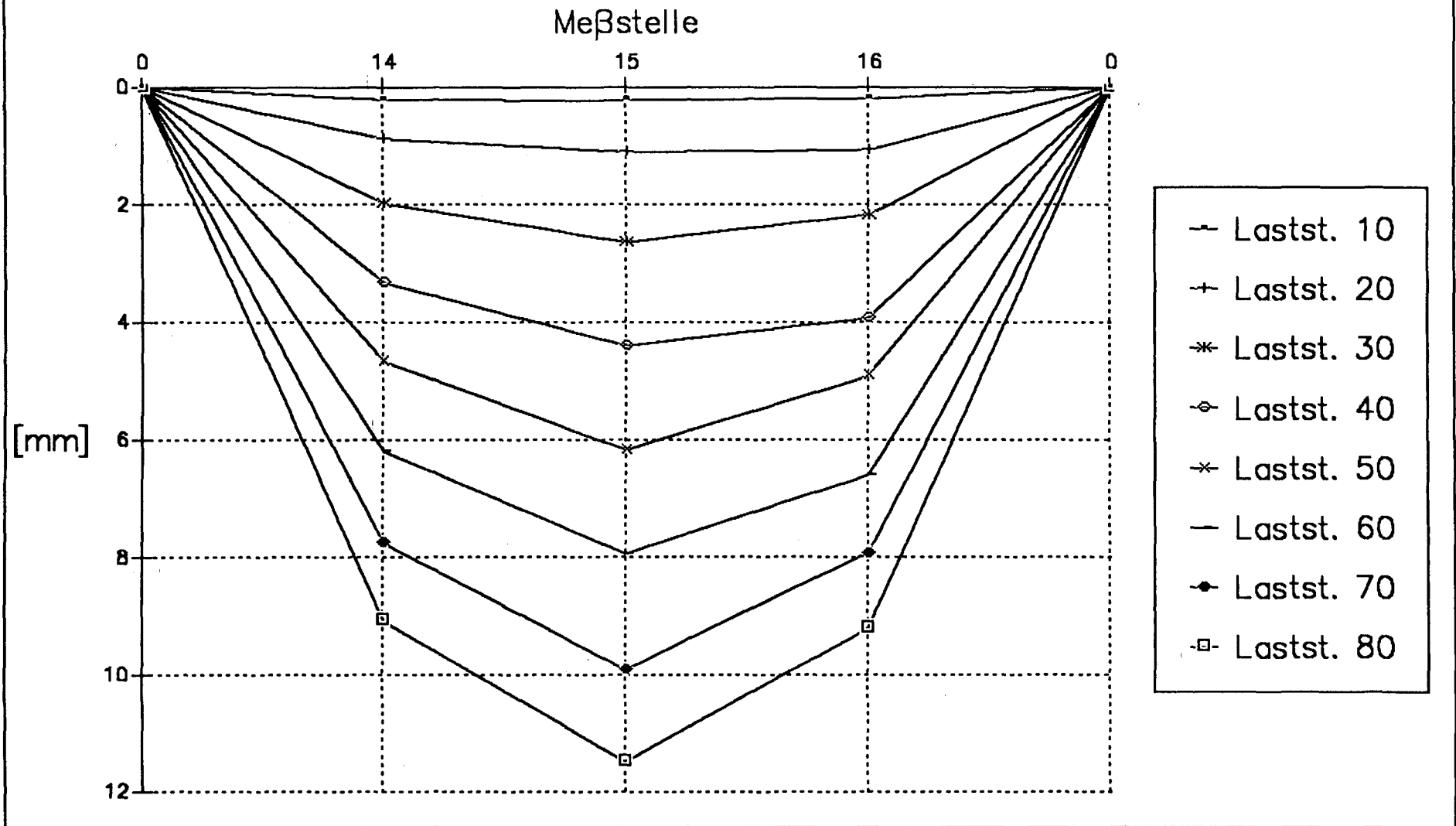


Versuch S1-V2/1 – Durchbiegungen Balken V2/2

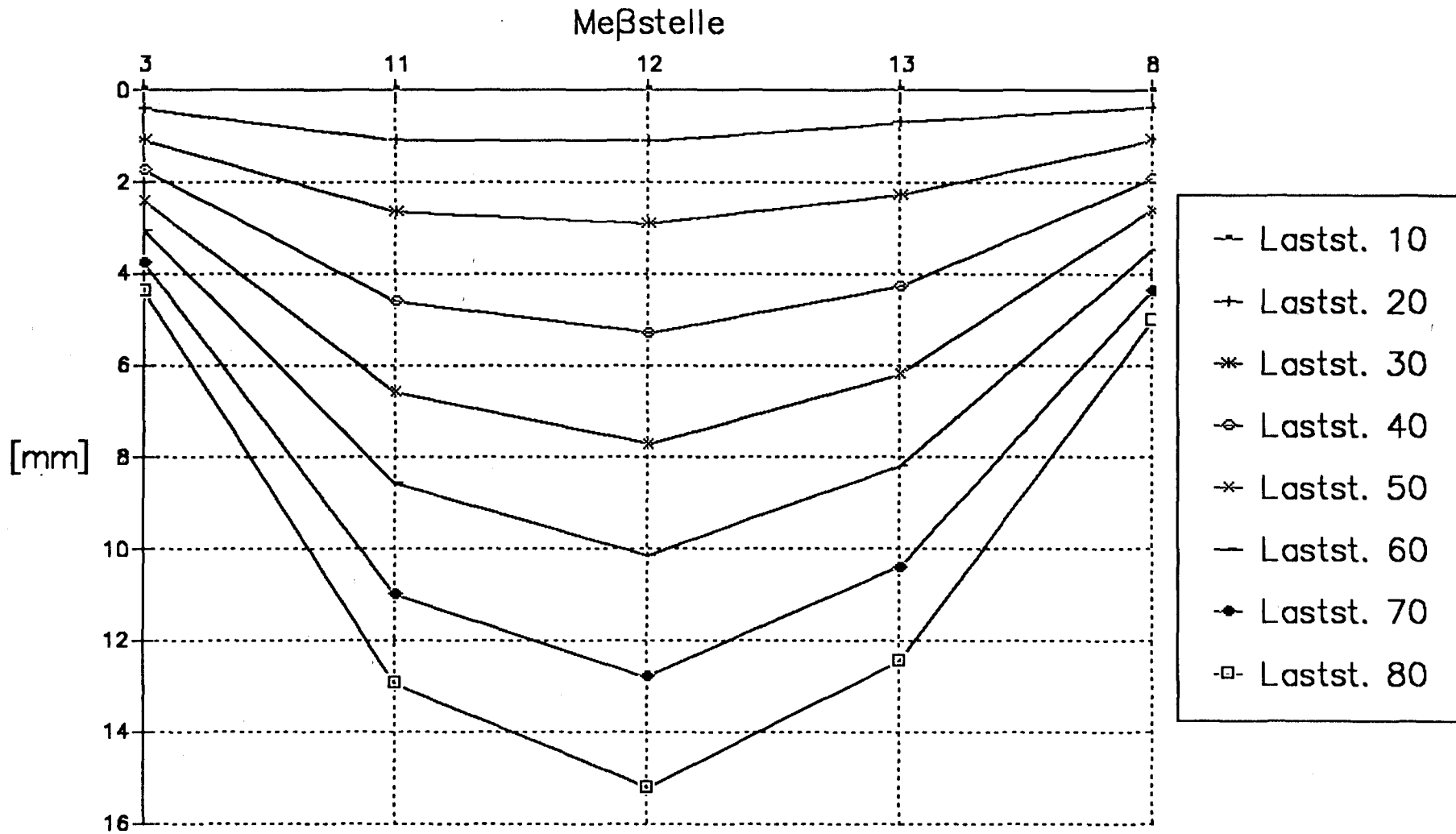
Meßstelle



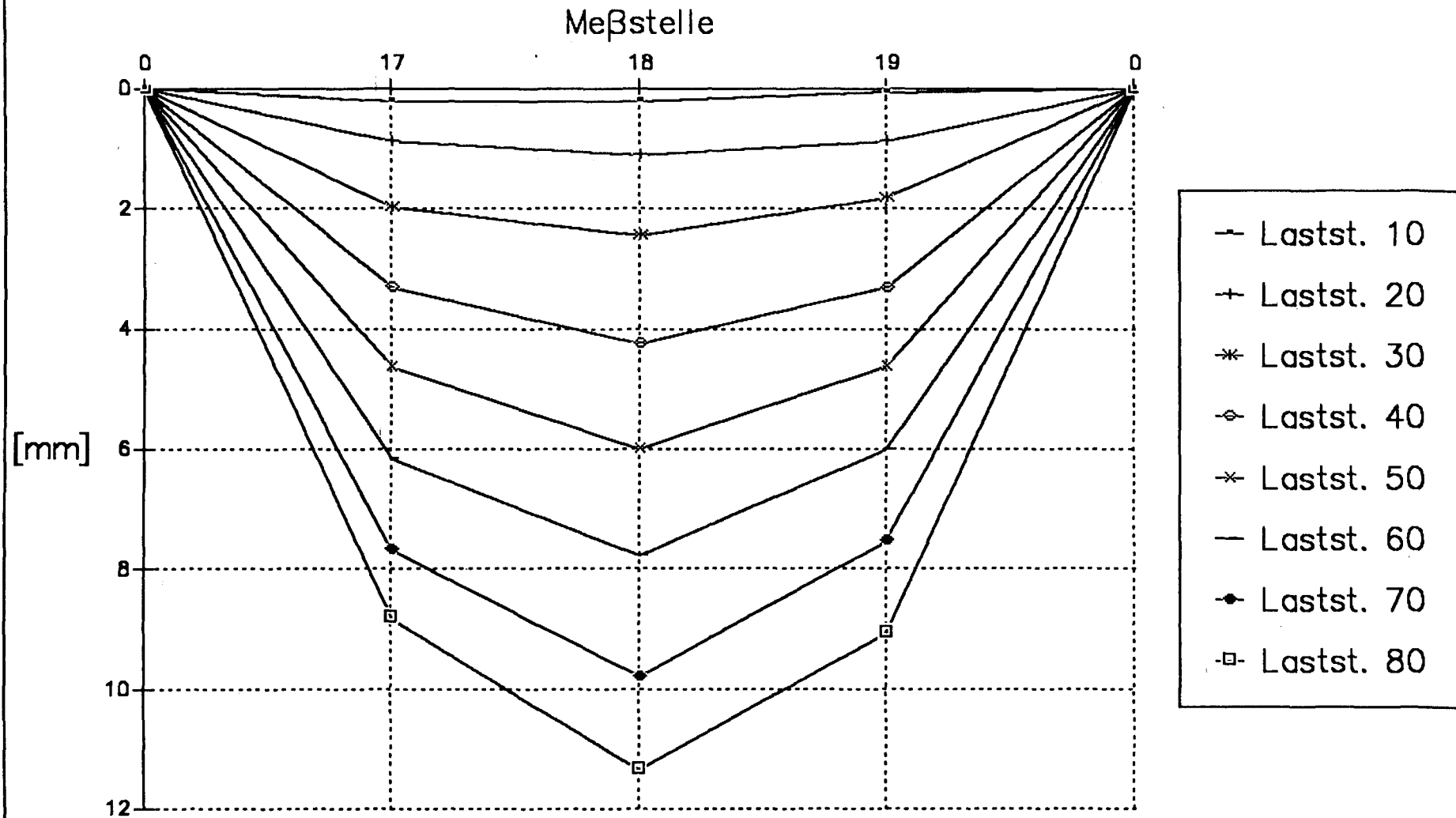
Versuch S1-V2/I – Durchbiegungen der Platte – Meßstelle 14–16



Versuch S1-V2/I – Durchbiegungen der Platte, Meßstellen 3,11-13,8

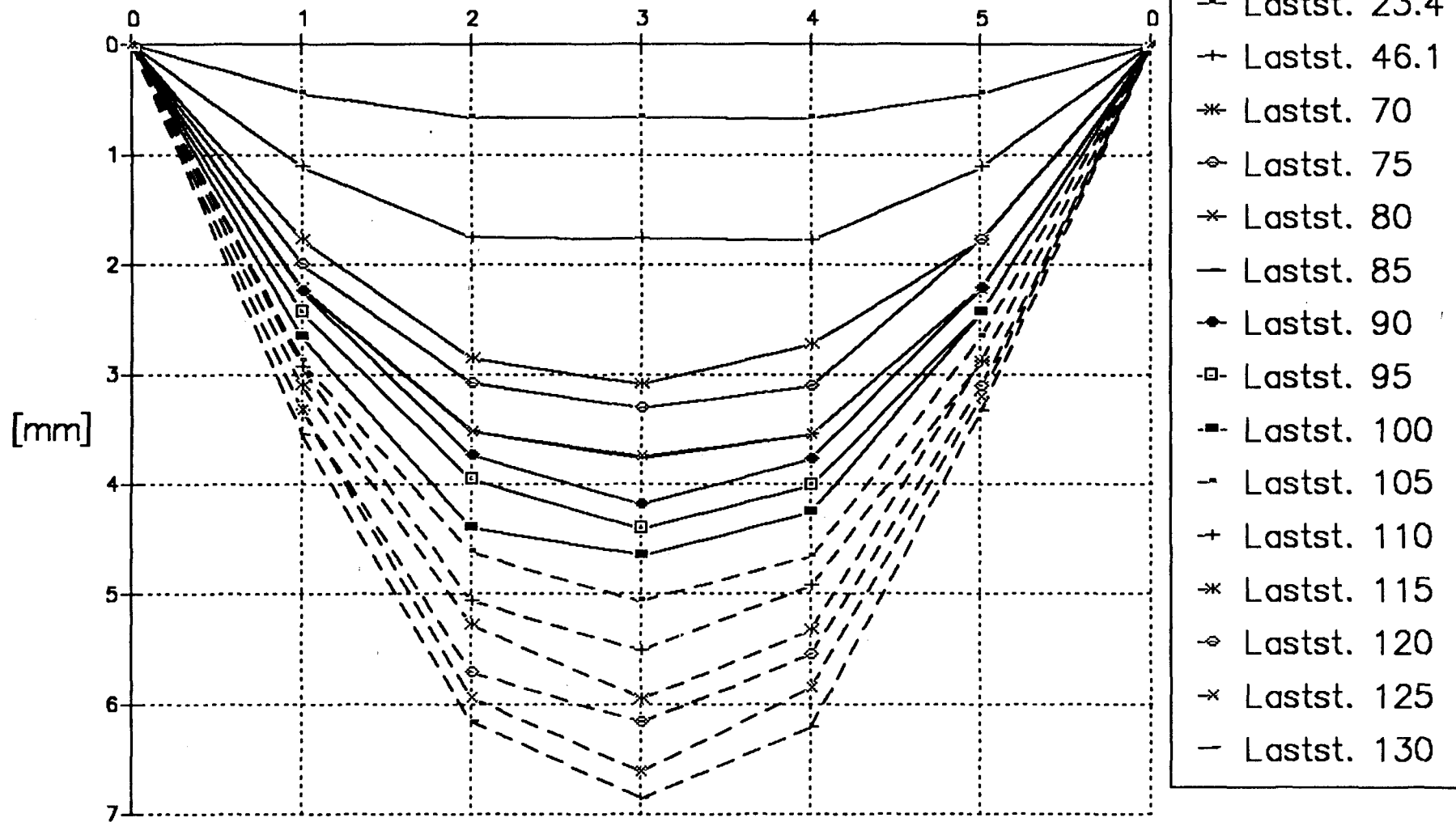


Versuch S1-V2/I – Durchbiegungen der Platte, Meßstellen 17–19

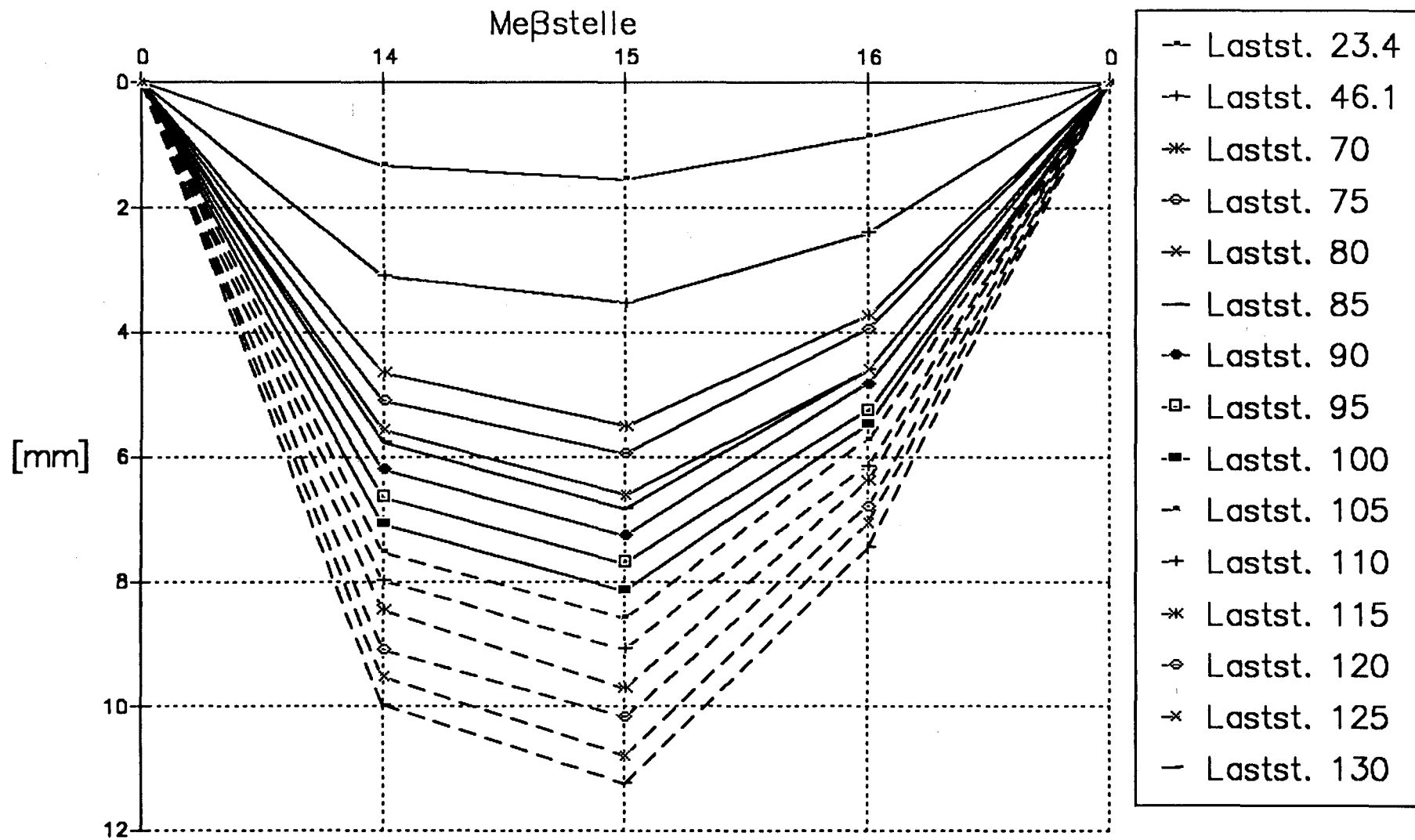


Versuch S1-V2/II – Durchbiegungen Balken V2/1

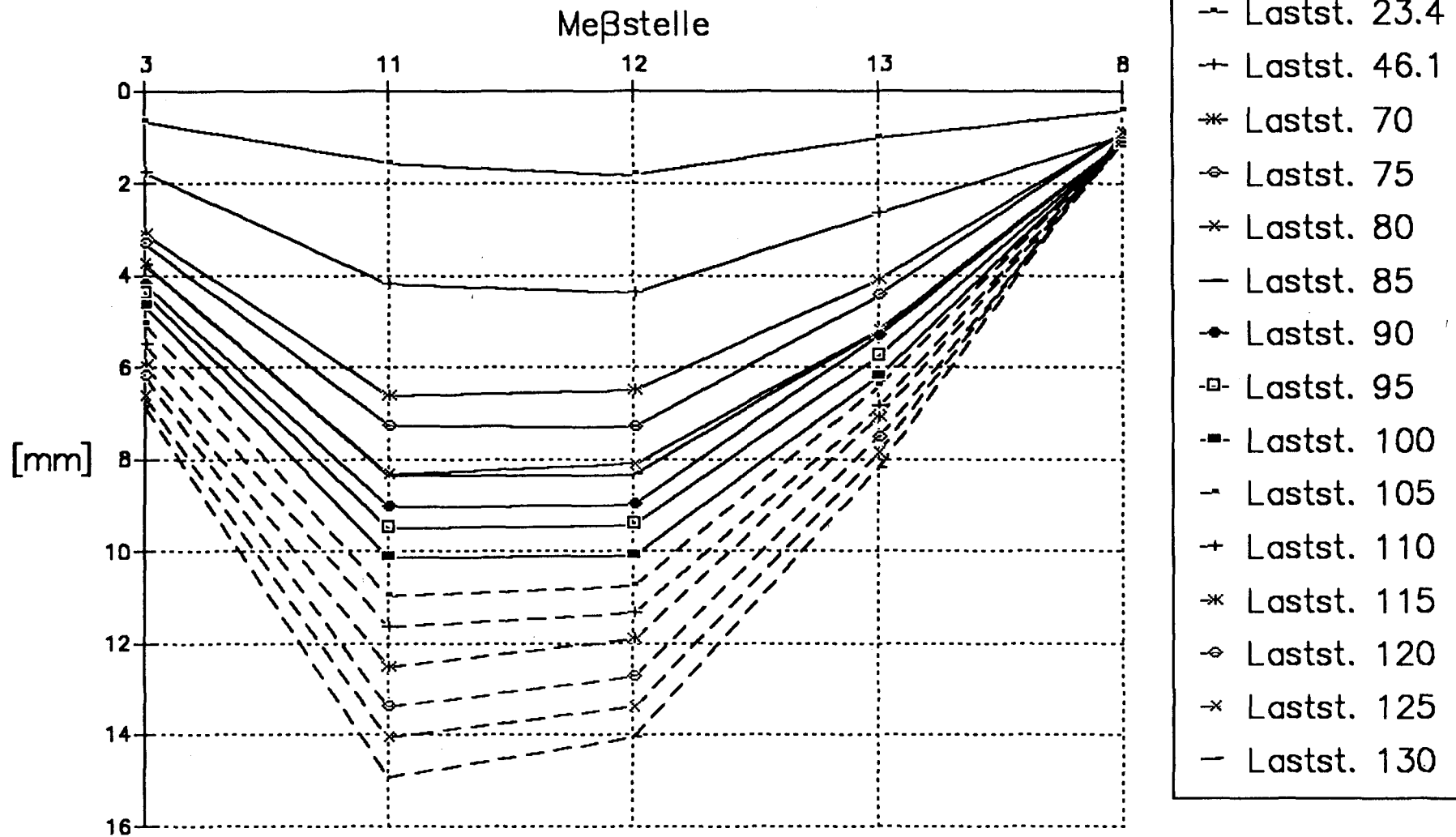
Meßstelle



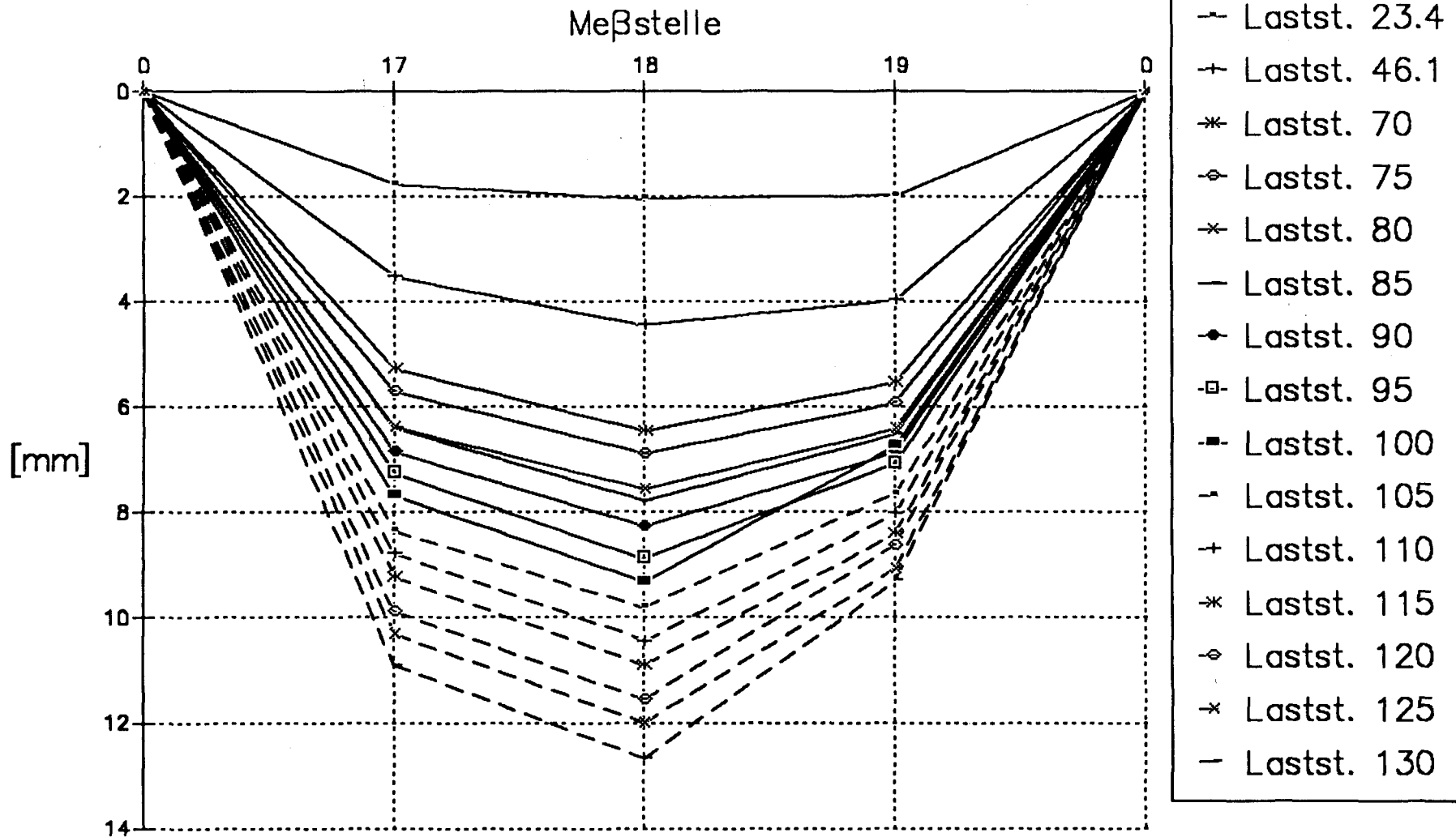
Versuch S1-V2/II – Durchbiegungen der Platte, Meßstelle 14–16



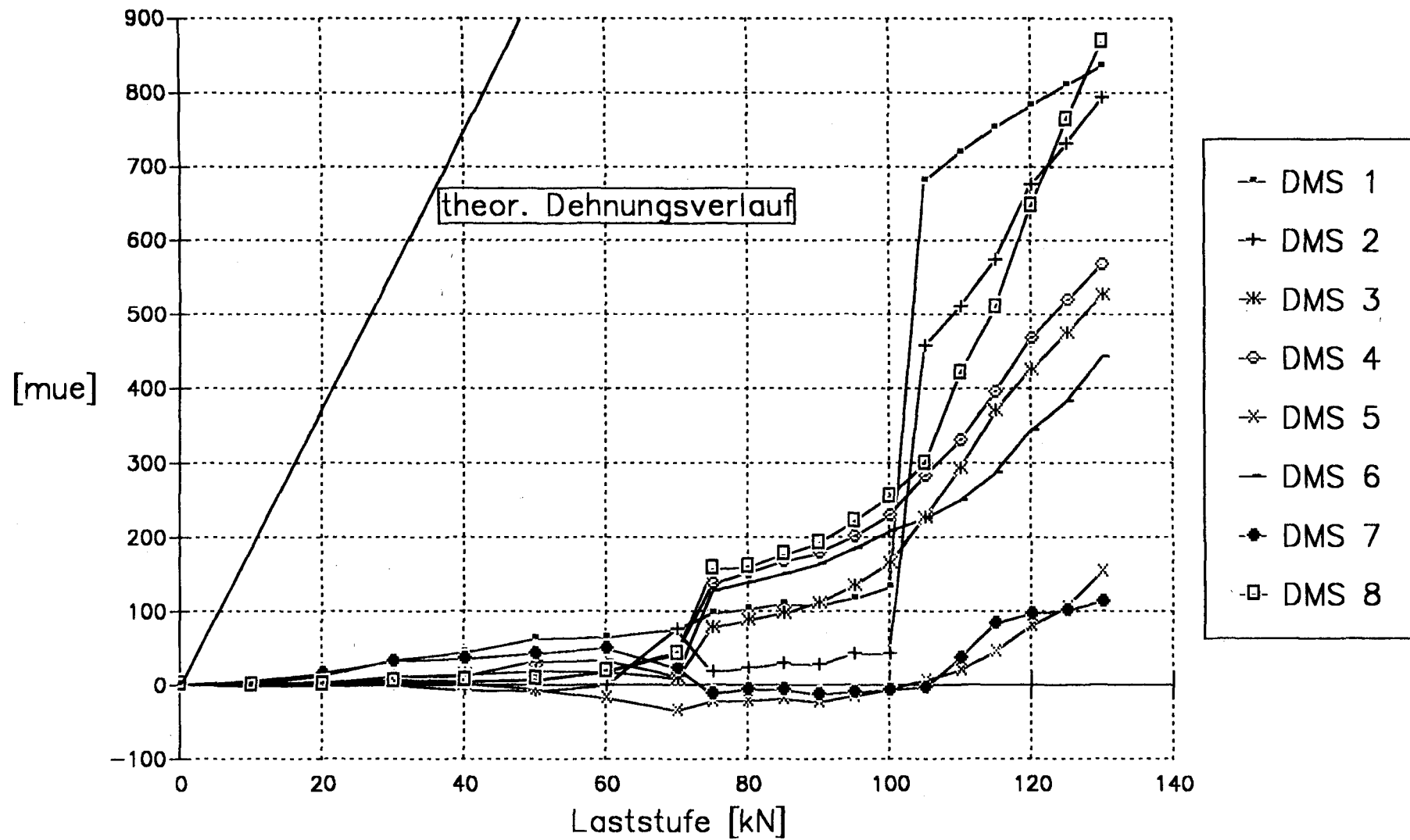
Versuch S1-V2/II – Durchbiegungen der Platte, Meßstelle 3,11–13,8



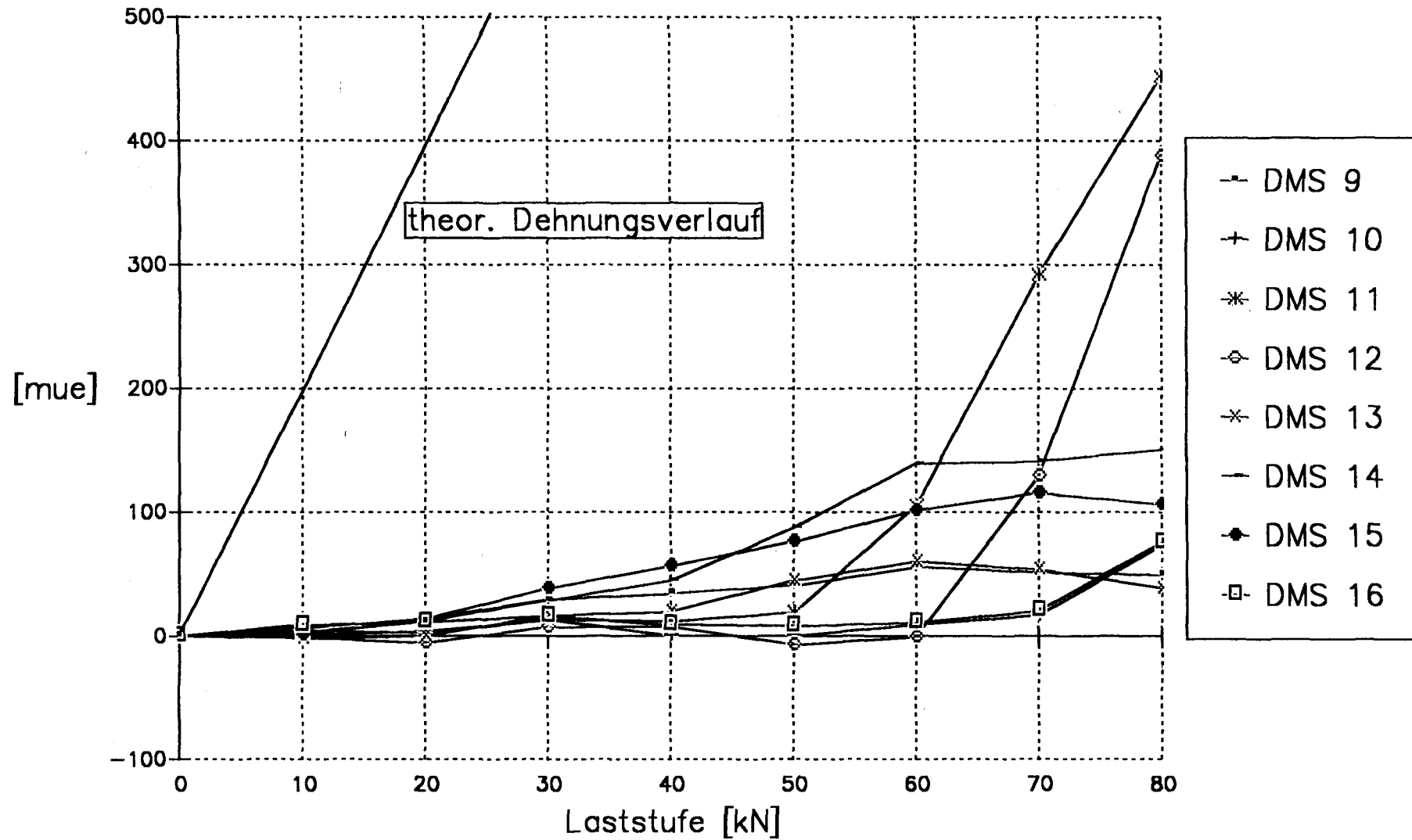
Versuch S1-V2/II – Durchbiegungen der Platte, Meßstelle 17–19



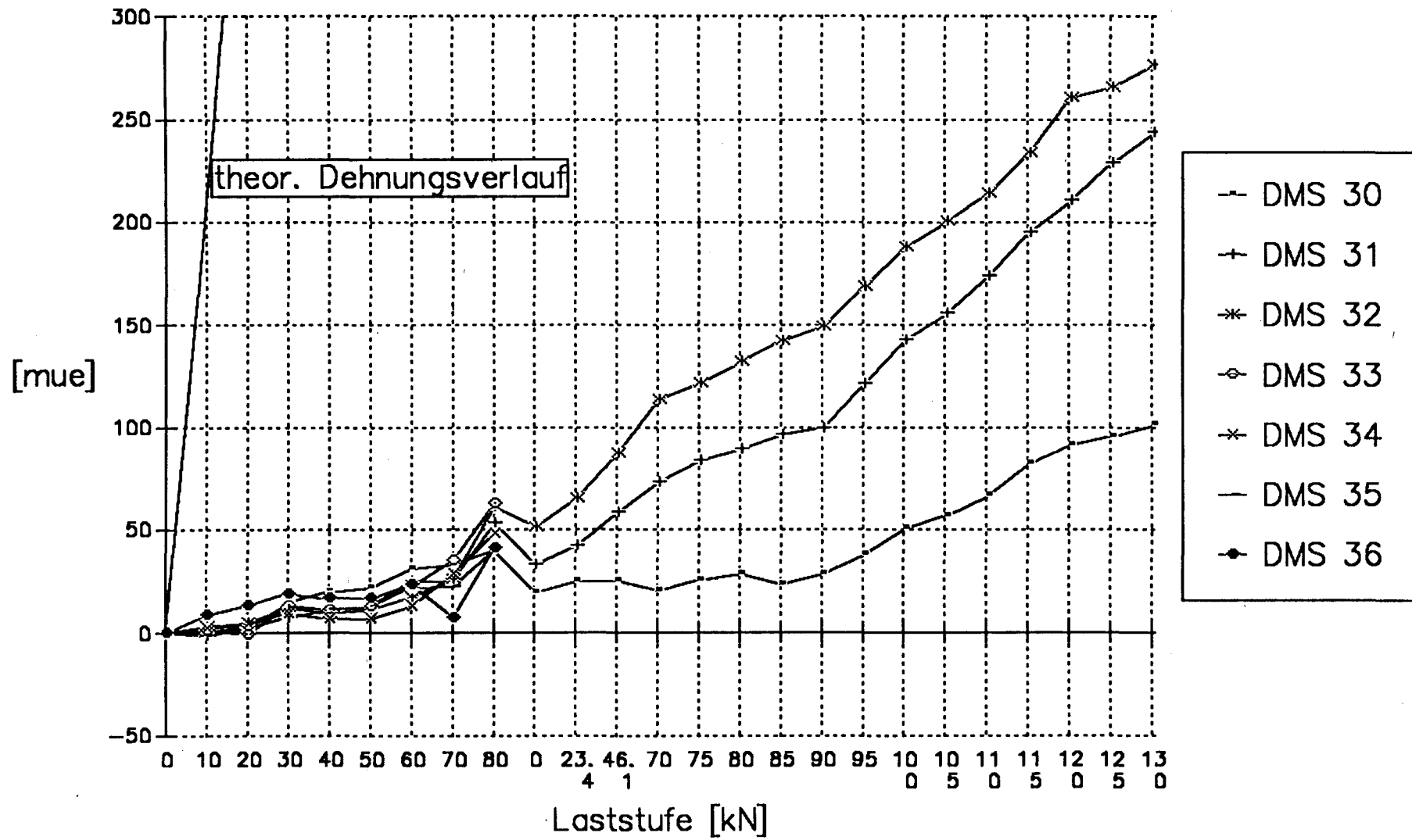
Versuch S1-V2 – DMS der Bügel, Balken V2/1



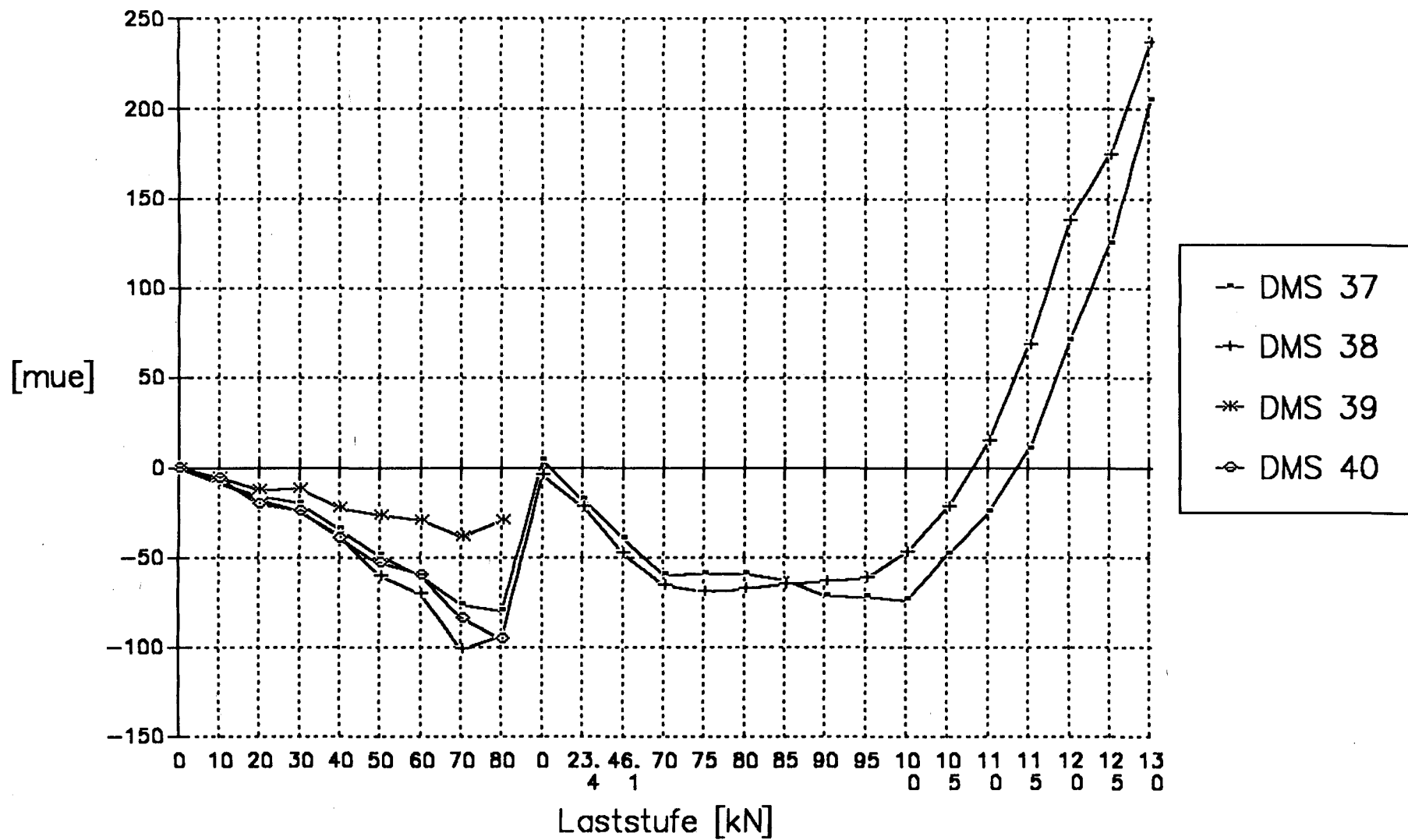
Versuch S1-V2 – DMS der Bügel, Balken V2/2



Versuch S1-V2 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



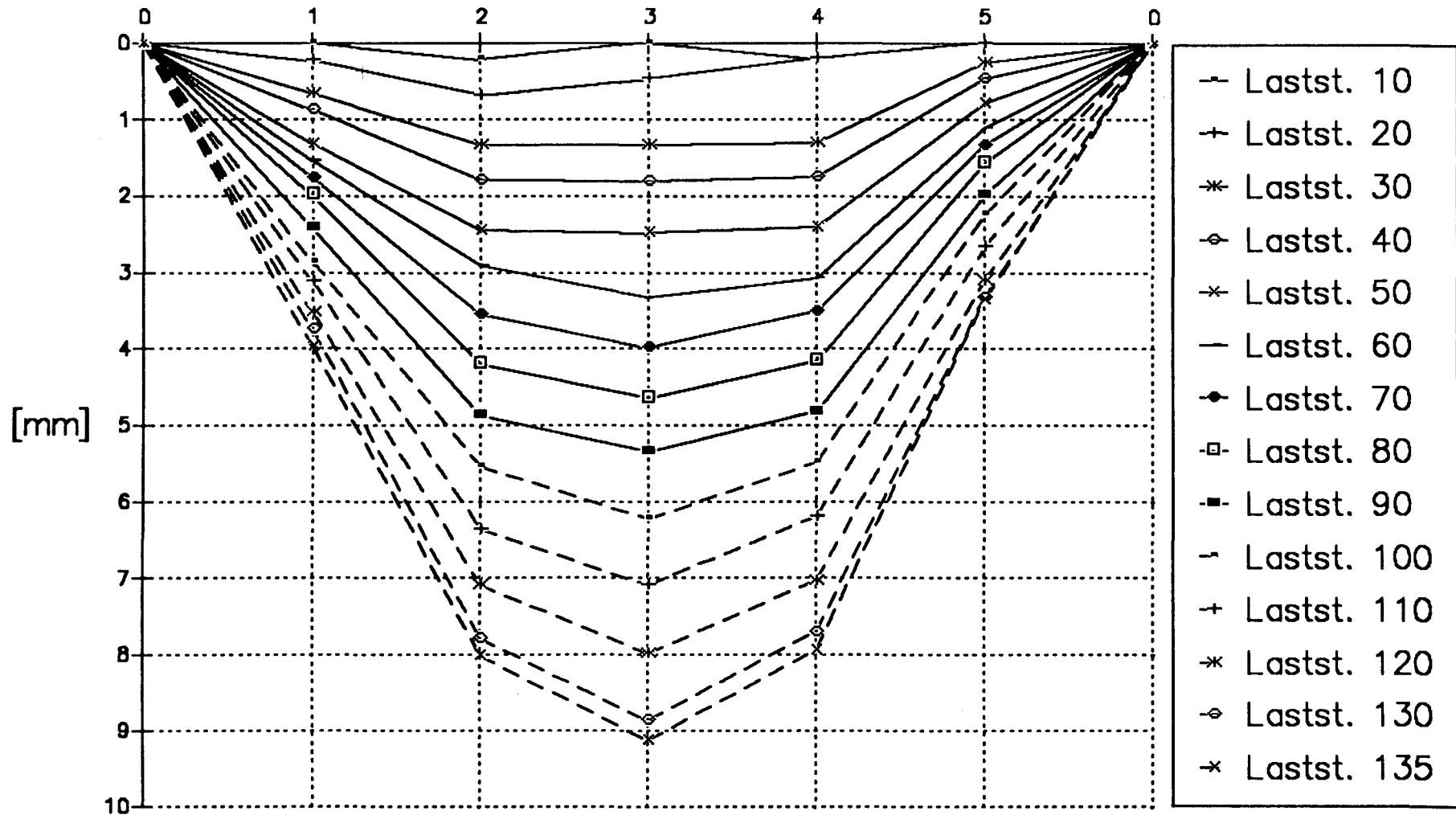
Versuch S1-V2 – DMS der Bügelabbiegungen



Versuch S1 - V3

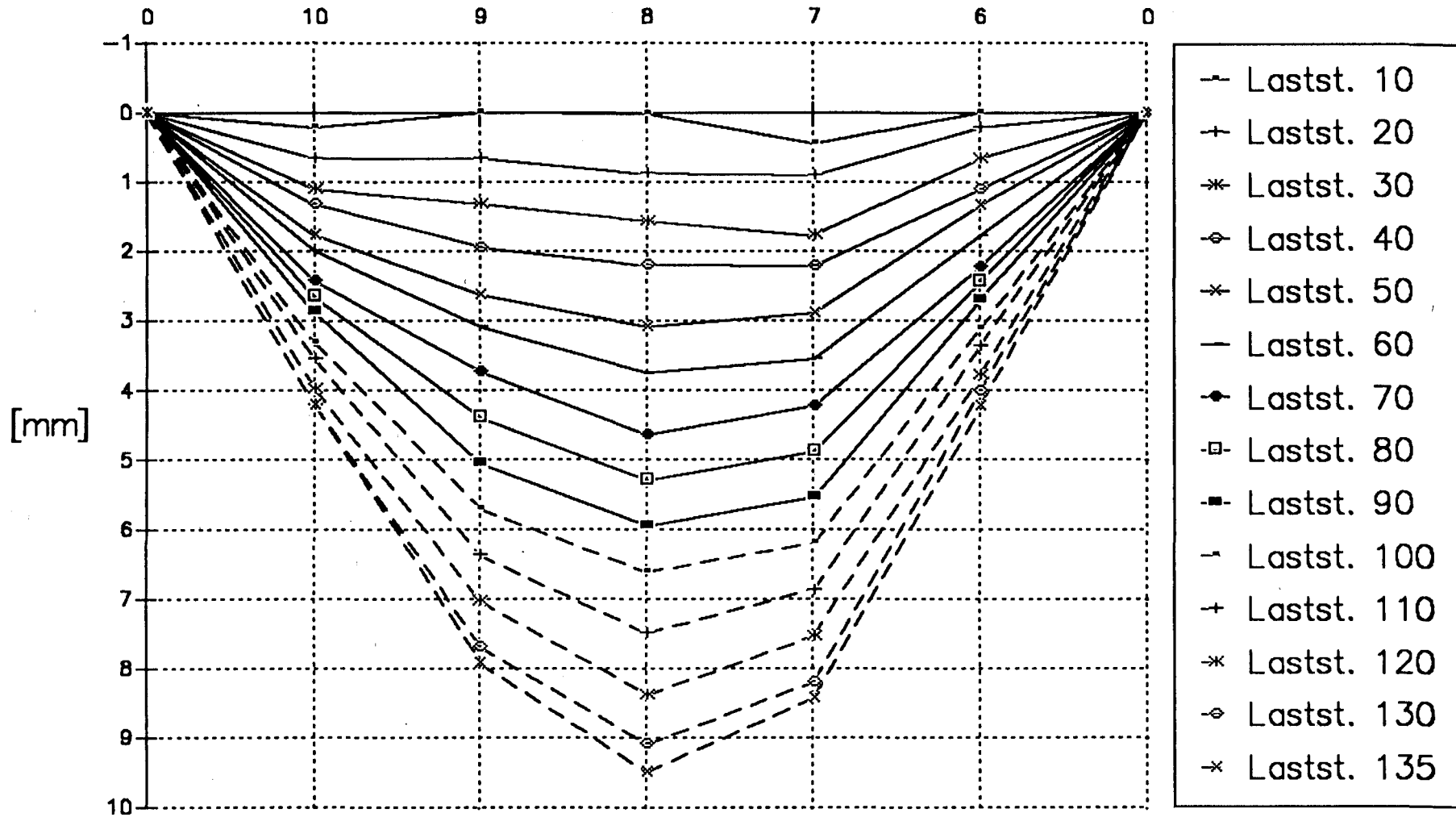
Versuch S1-V3 – Durchbiegung Balken V3/1

Meßstelle

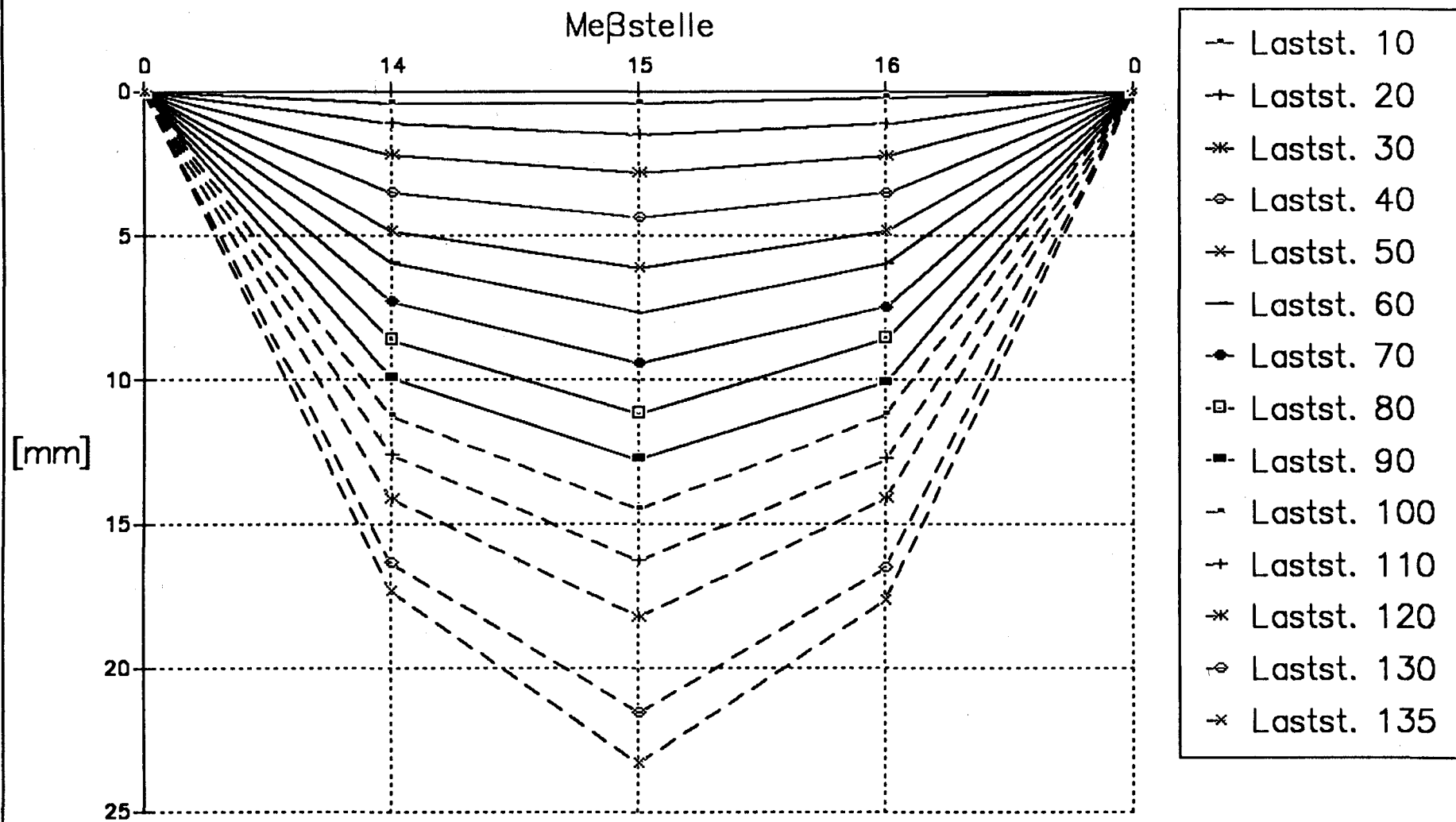


Versuch S1-V3 – Durchbiegungen Balken V3/2

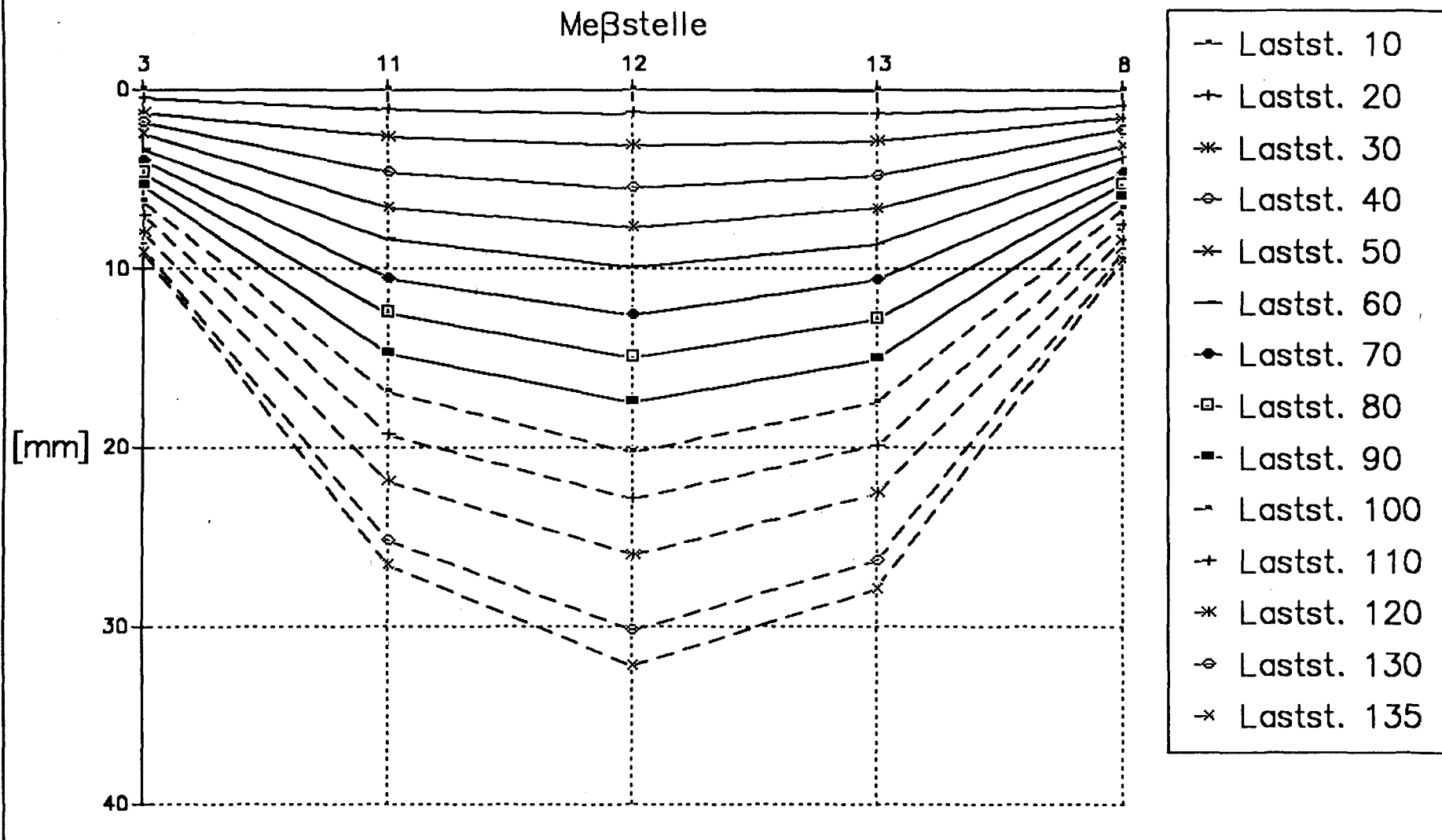
Meßstelle



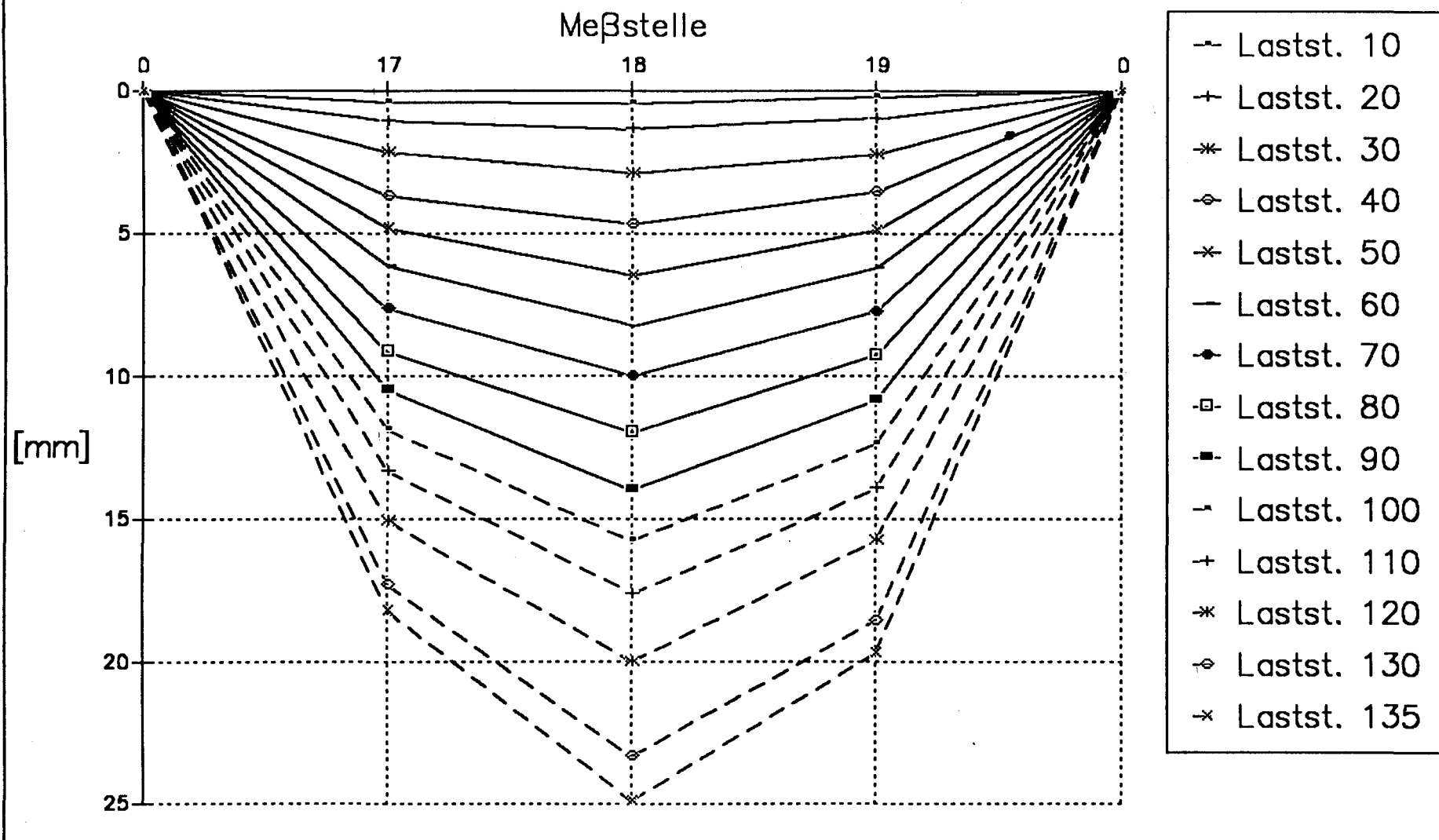
Versuch S1-V3 – Durchbiegungen der Platte – Meßstelle 14-16



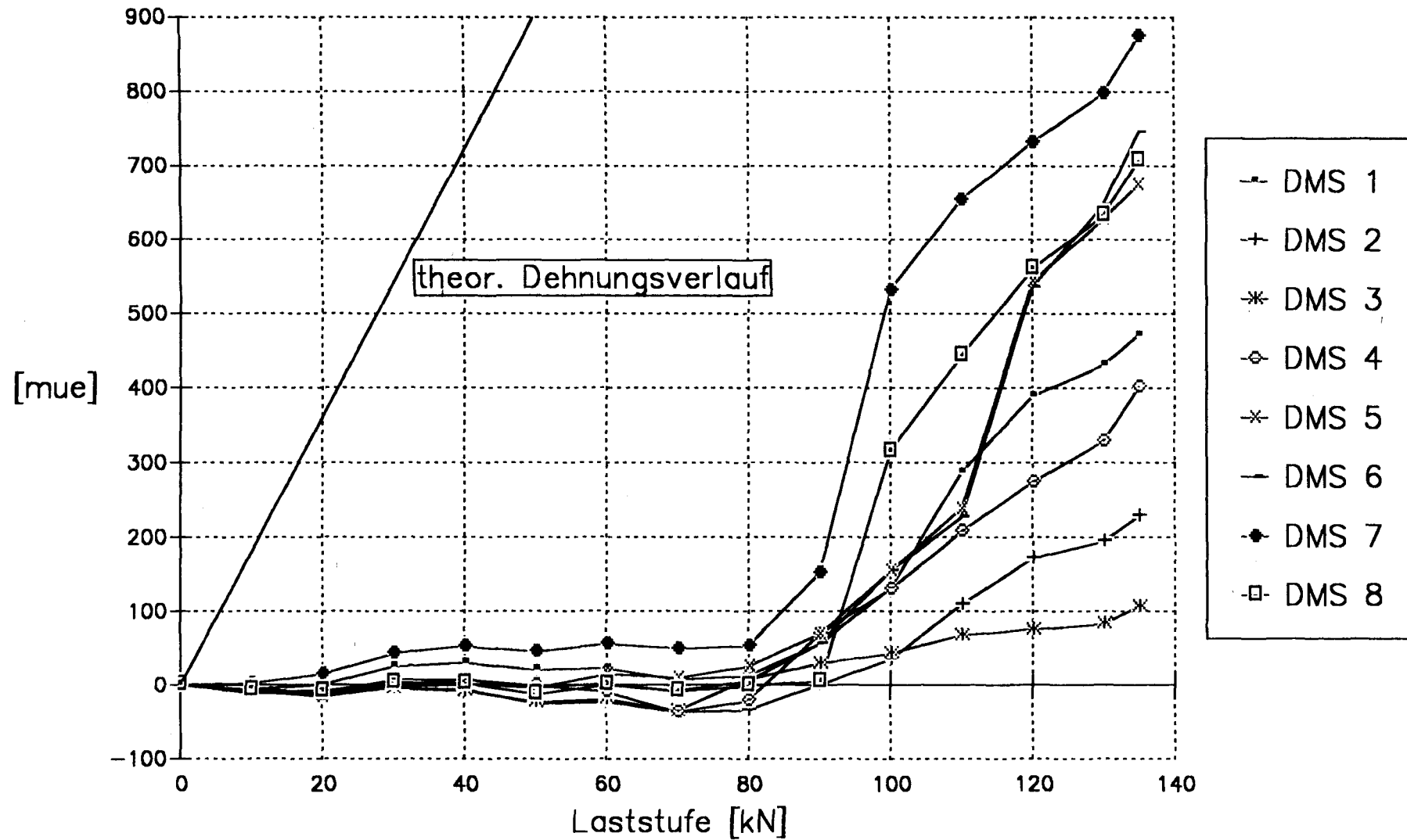
Versuch S1-V3 – Durchbiegungen der Platte, Meßstellen 3,11-13,8



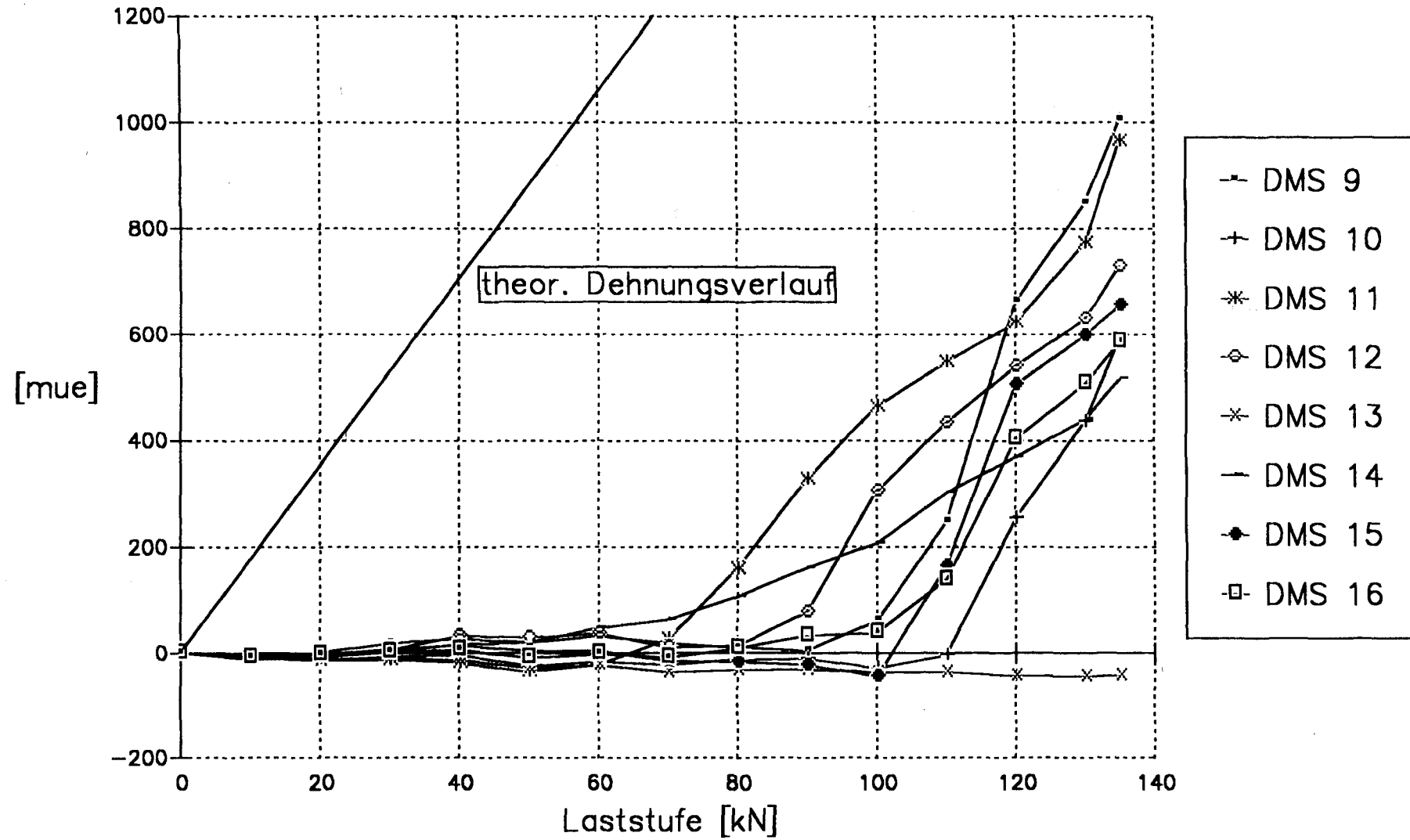
Versuch S1-V3 – Durchbiegungen der Platte, Meßstellen 17-19



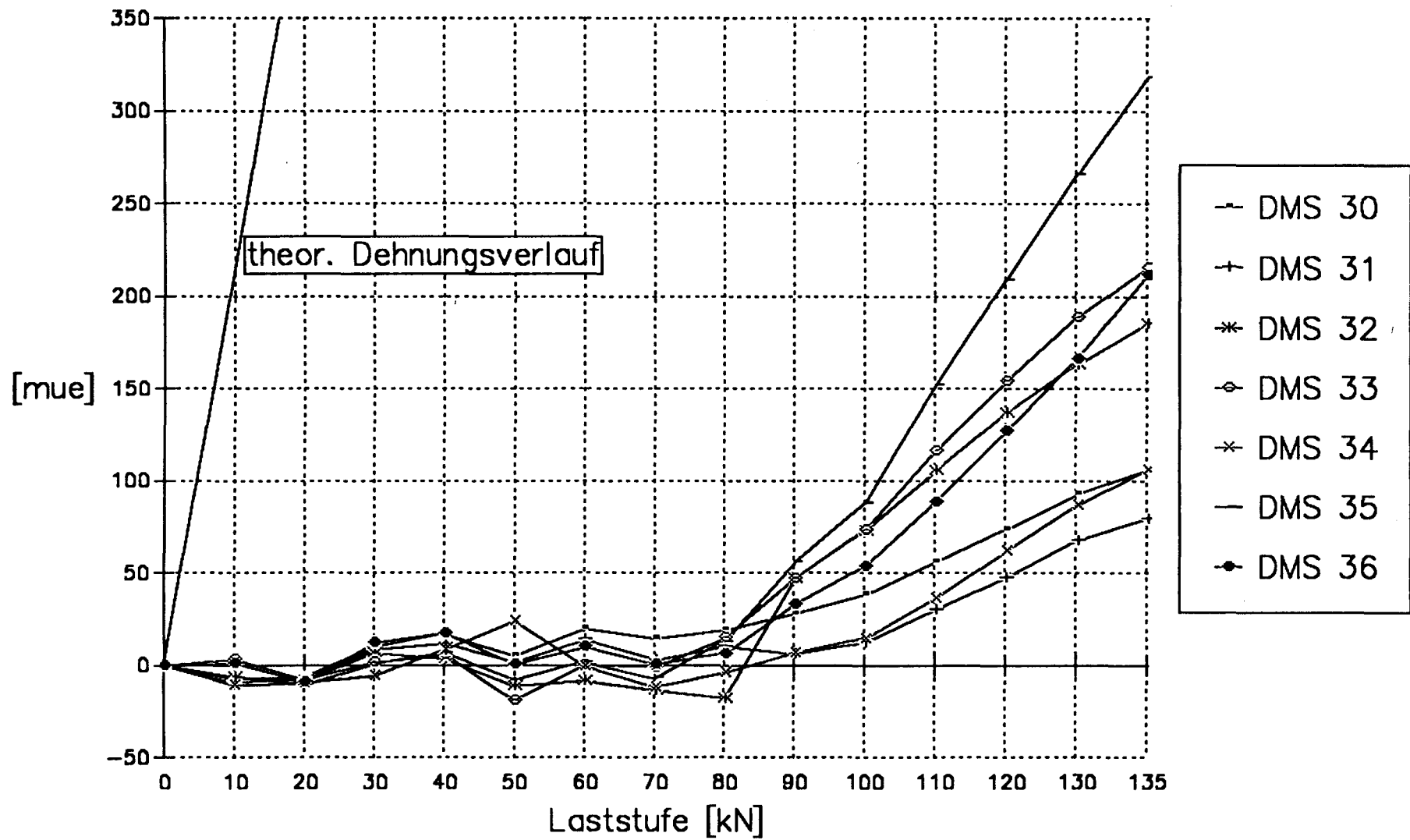
Versuch S1-V3 – DMS der Bügel, Balken V3/1



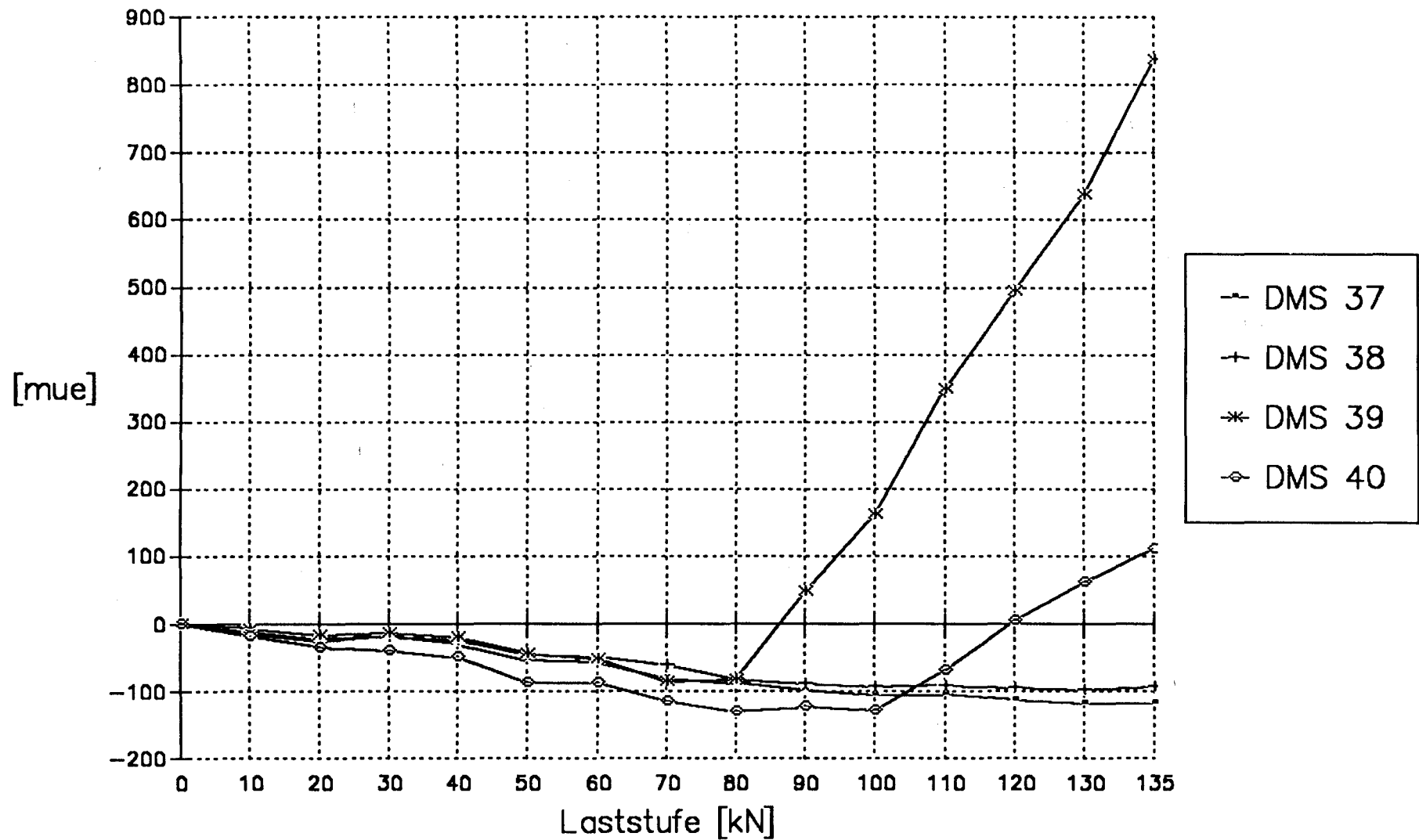
Versuch S1 – V3 – DMS der Bügel, Balken V3/2



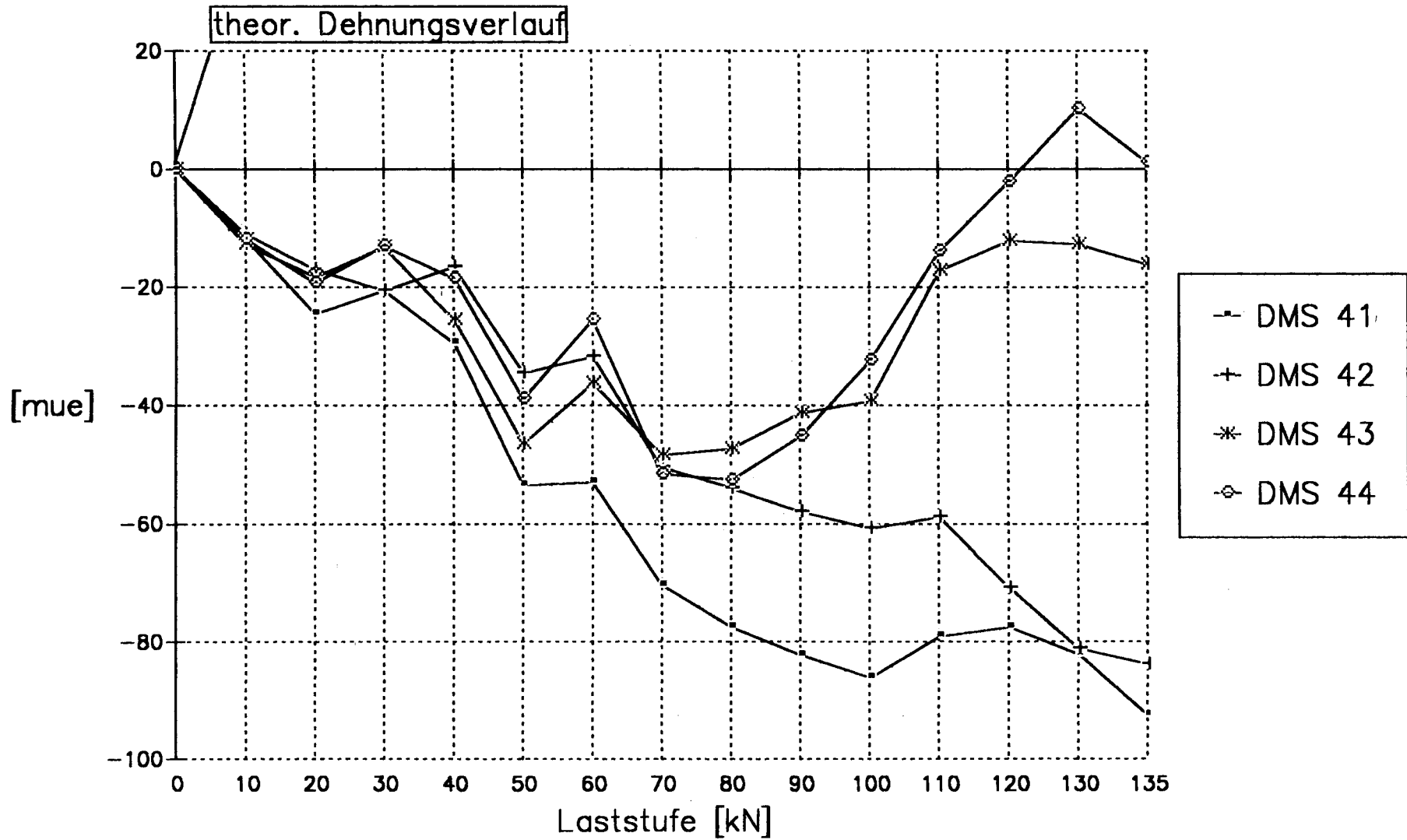
Versuch S1-V3 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



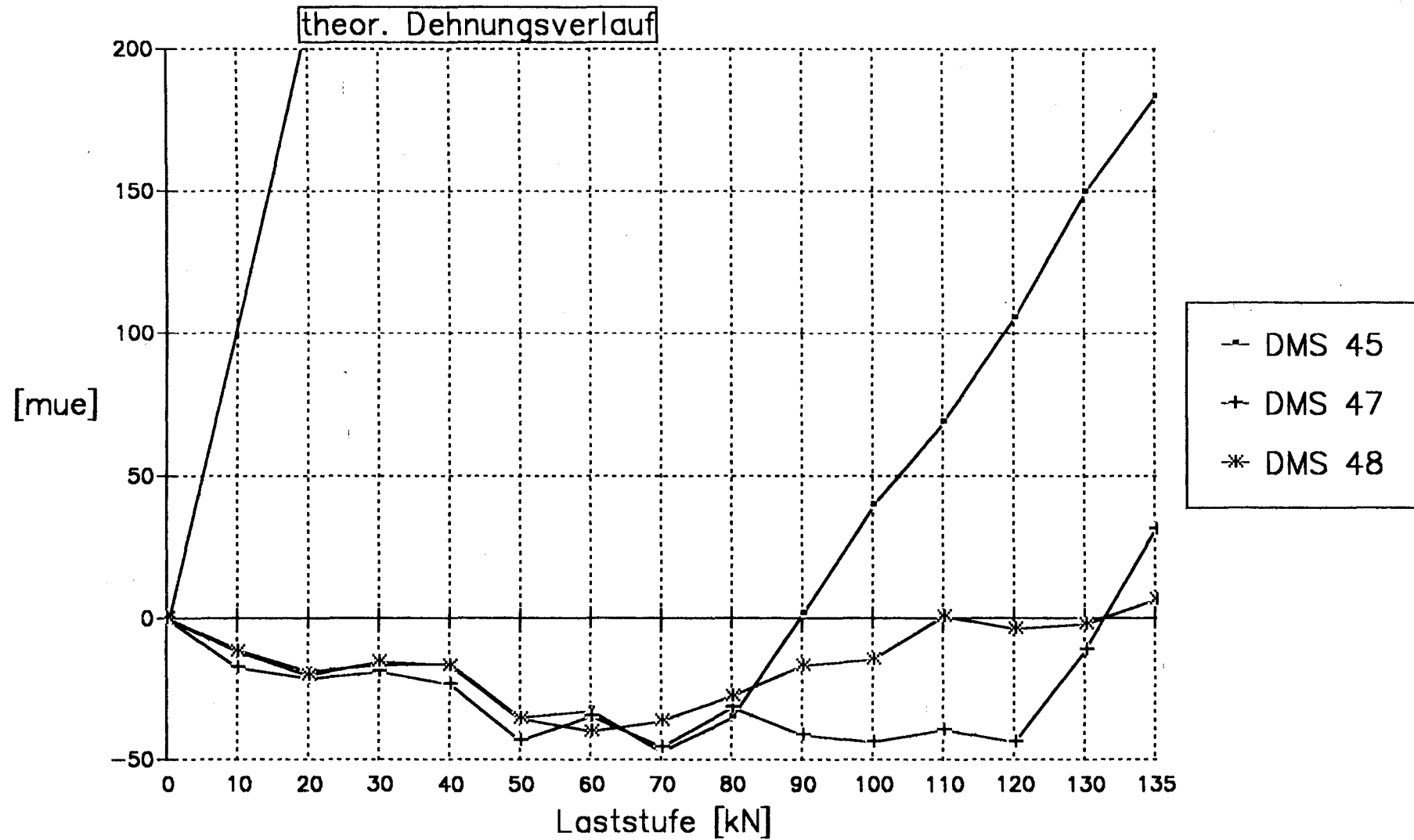
Versuch S1-V3 – DMS der Bügelabbiegungen



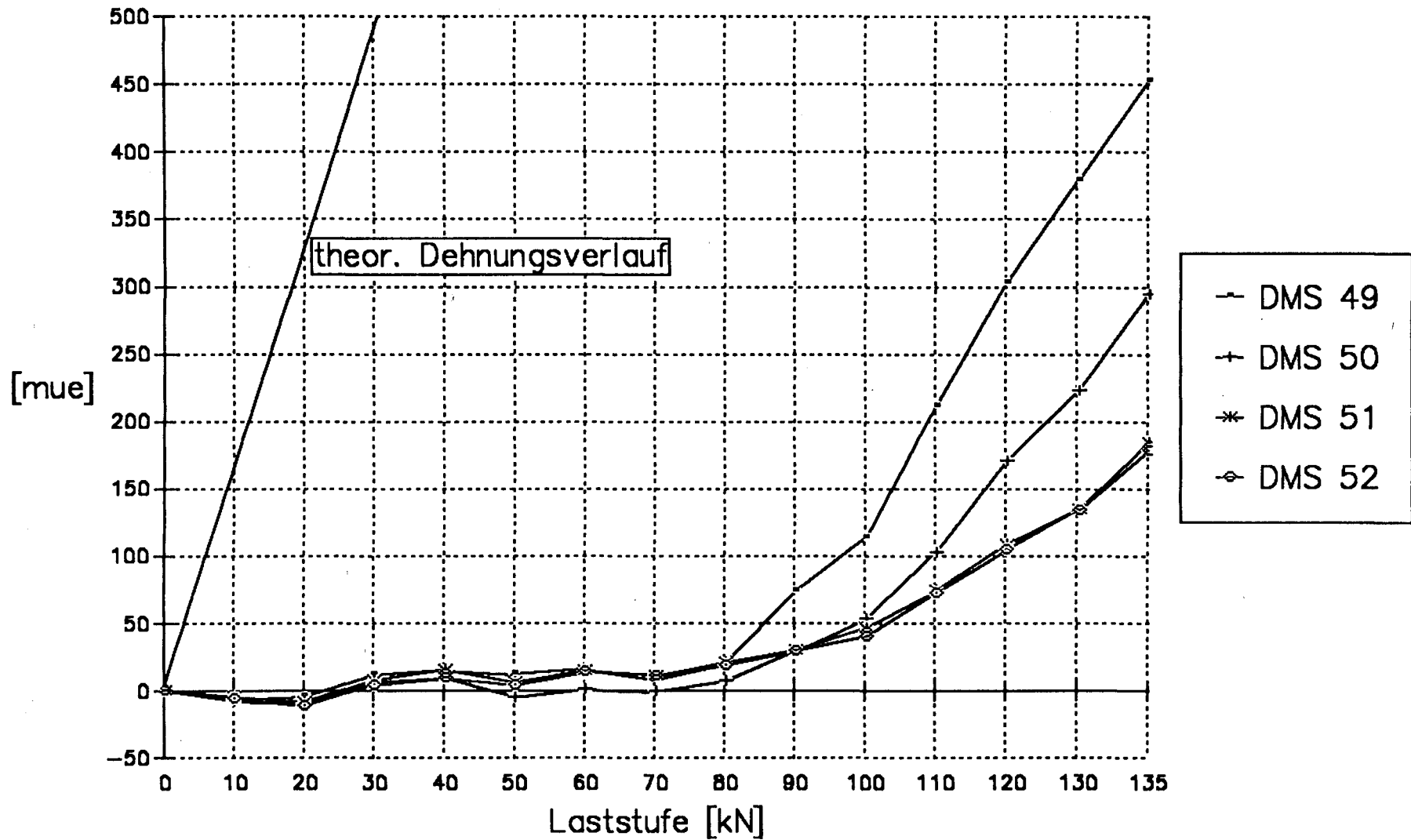
Versuch S1-V3 – DMS der Aufhängebewehrung, Balken V3/1



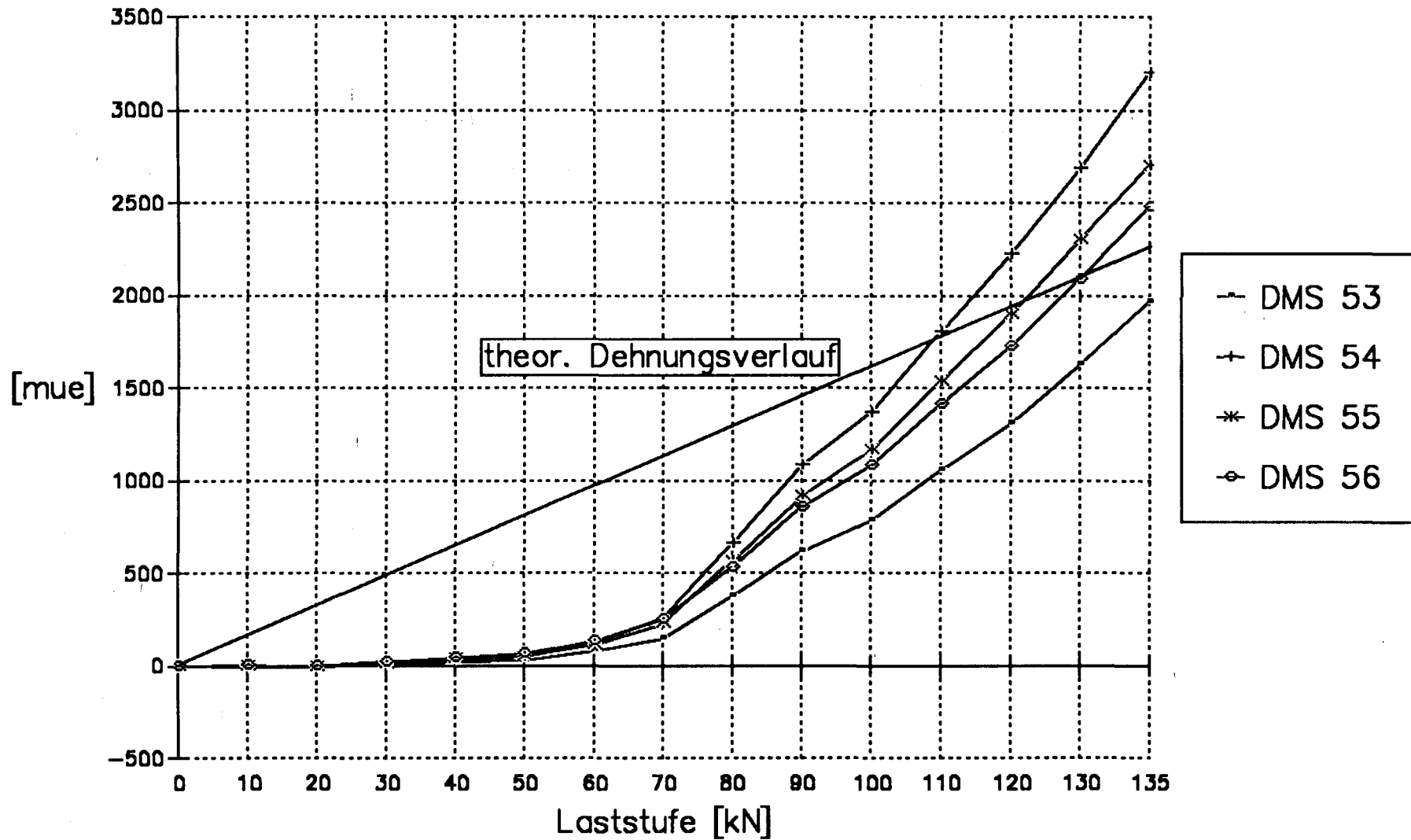
Versuch S1-V3 – DMS der Aufhängebewehrung, Balken V3/2



Verusch S1-V3 – DMS der Auflagerzulagen



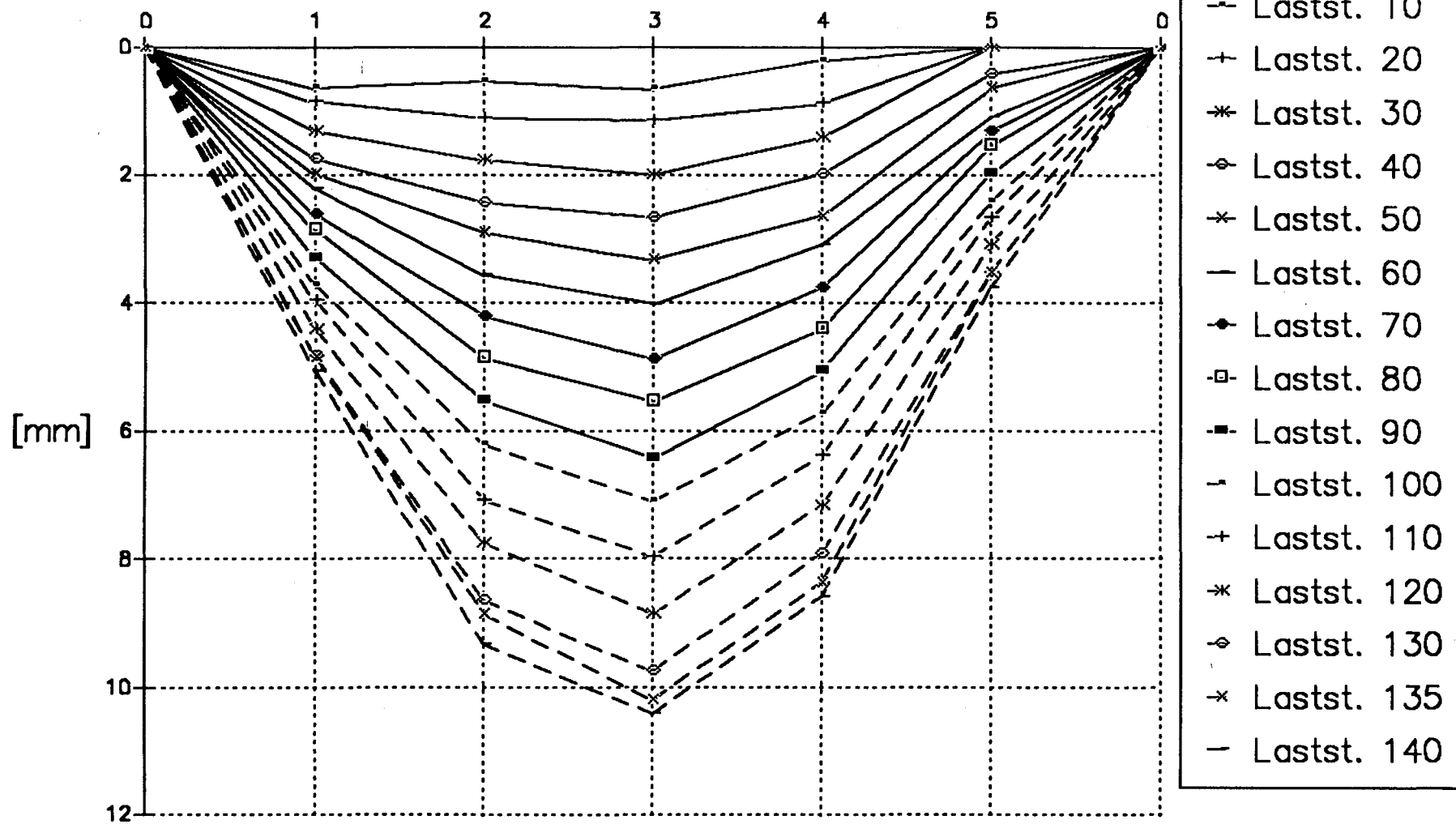
Versuch S1-V3 – DMS der Auflagerzulagen, Balken V3/2



Versuch S1 – V4

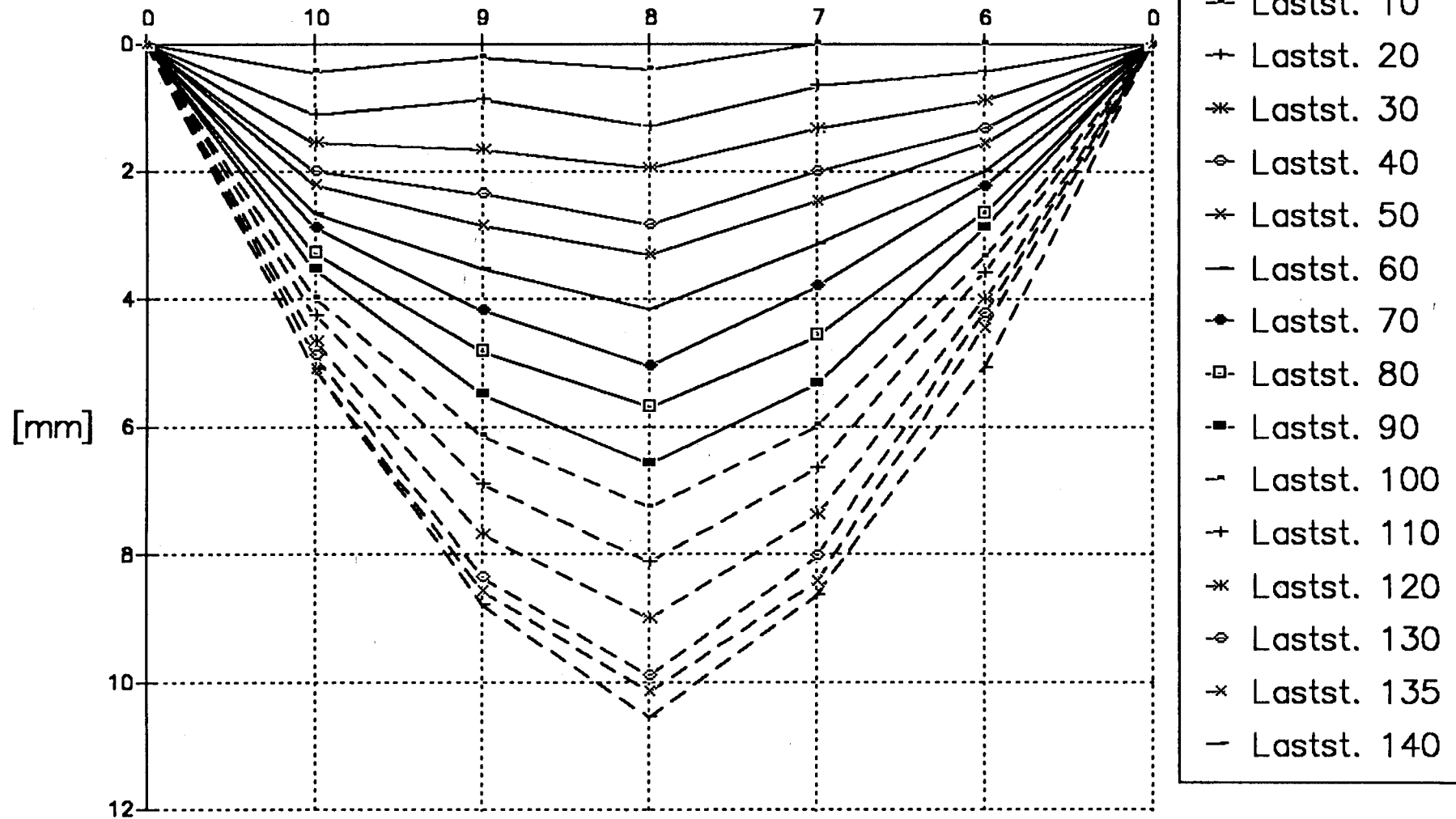
Versuch S1-V4 – Durchbiegung Balken V4/1

Meßstelle

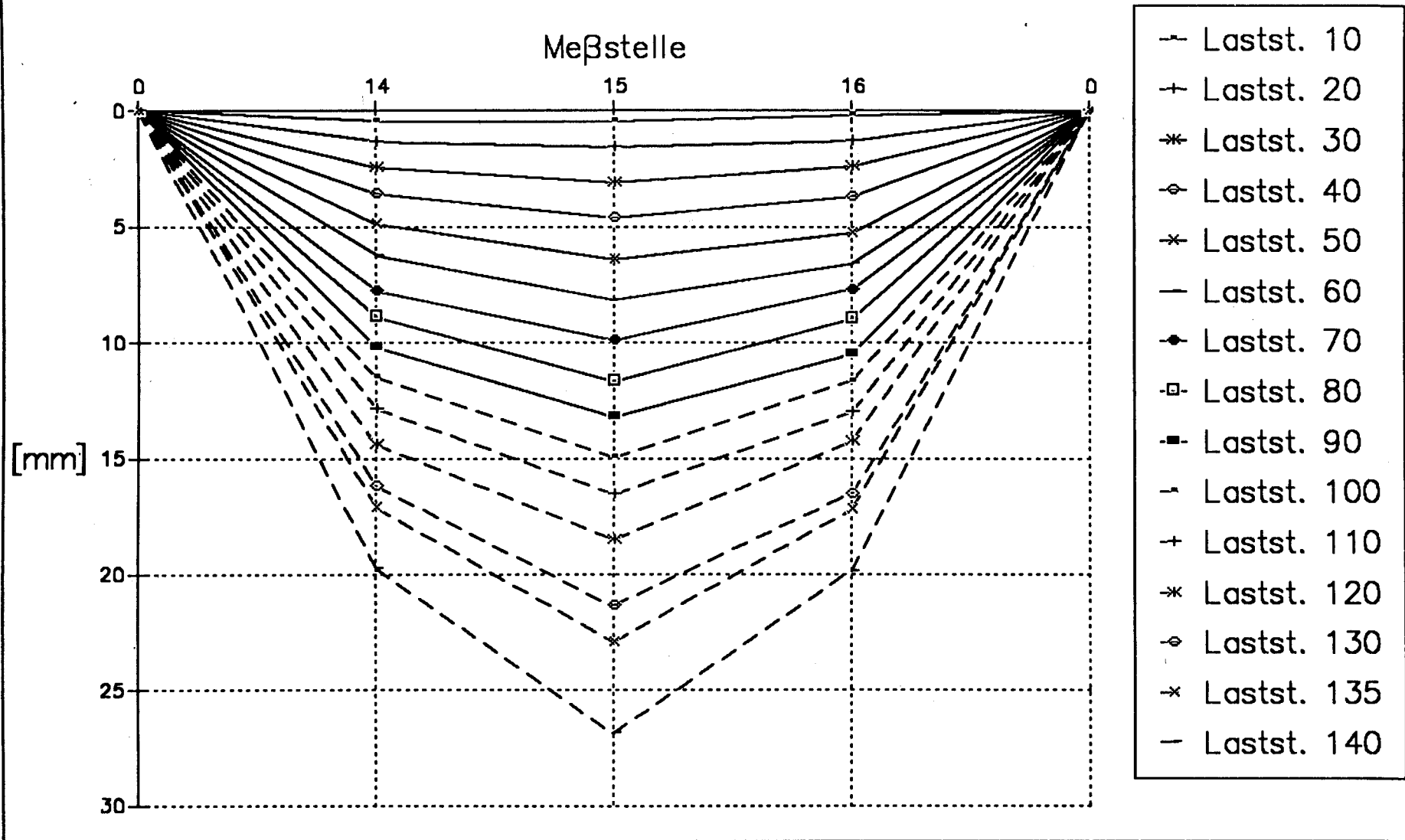


Versuch S1-V4 – Durchbiegungen Balken V4/2

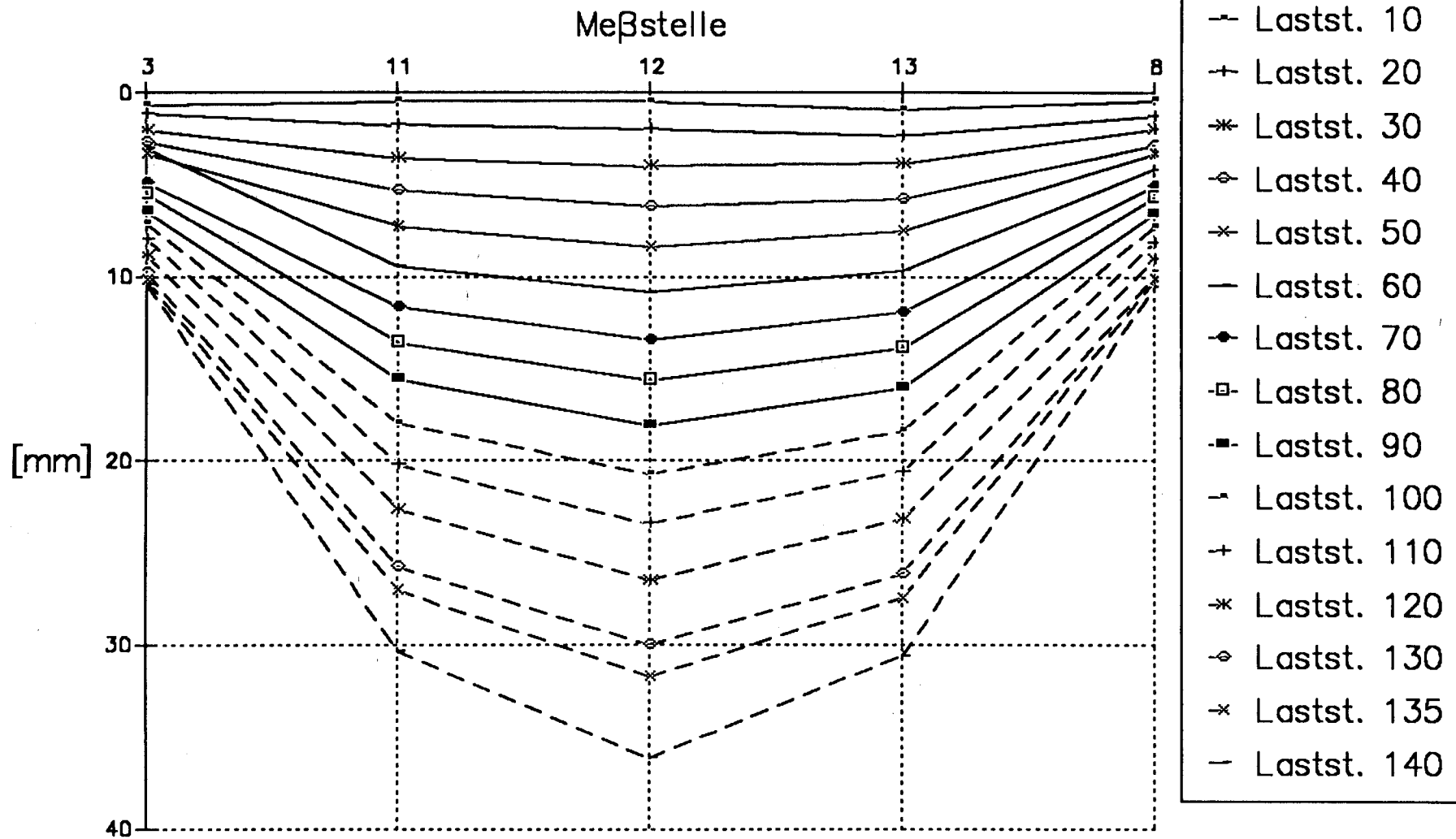
Meßstelle



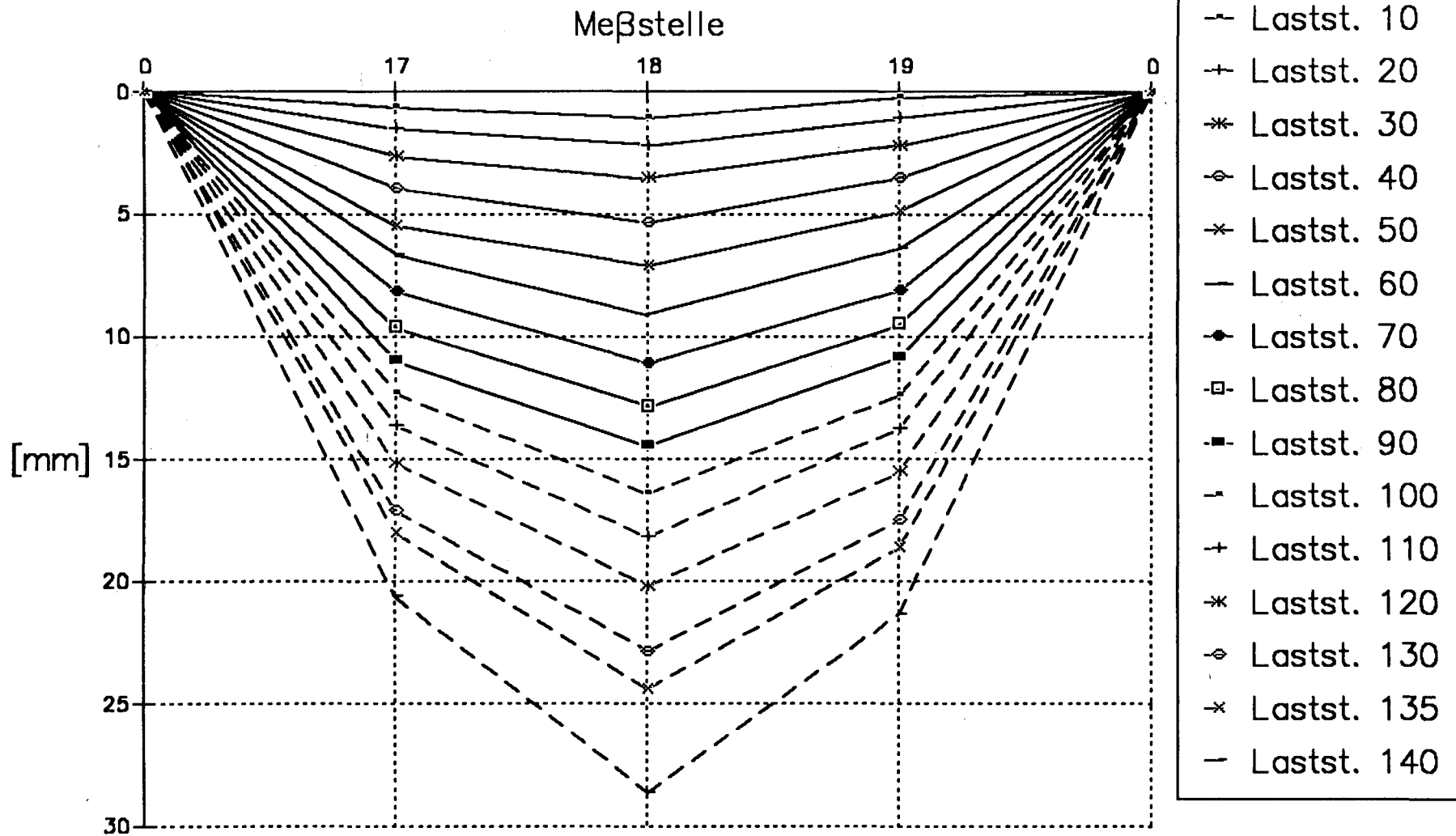
Versuch S1-V4 – Durchbiegung der Platte, Meßstellen 14–16



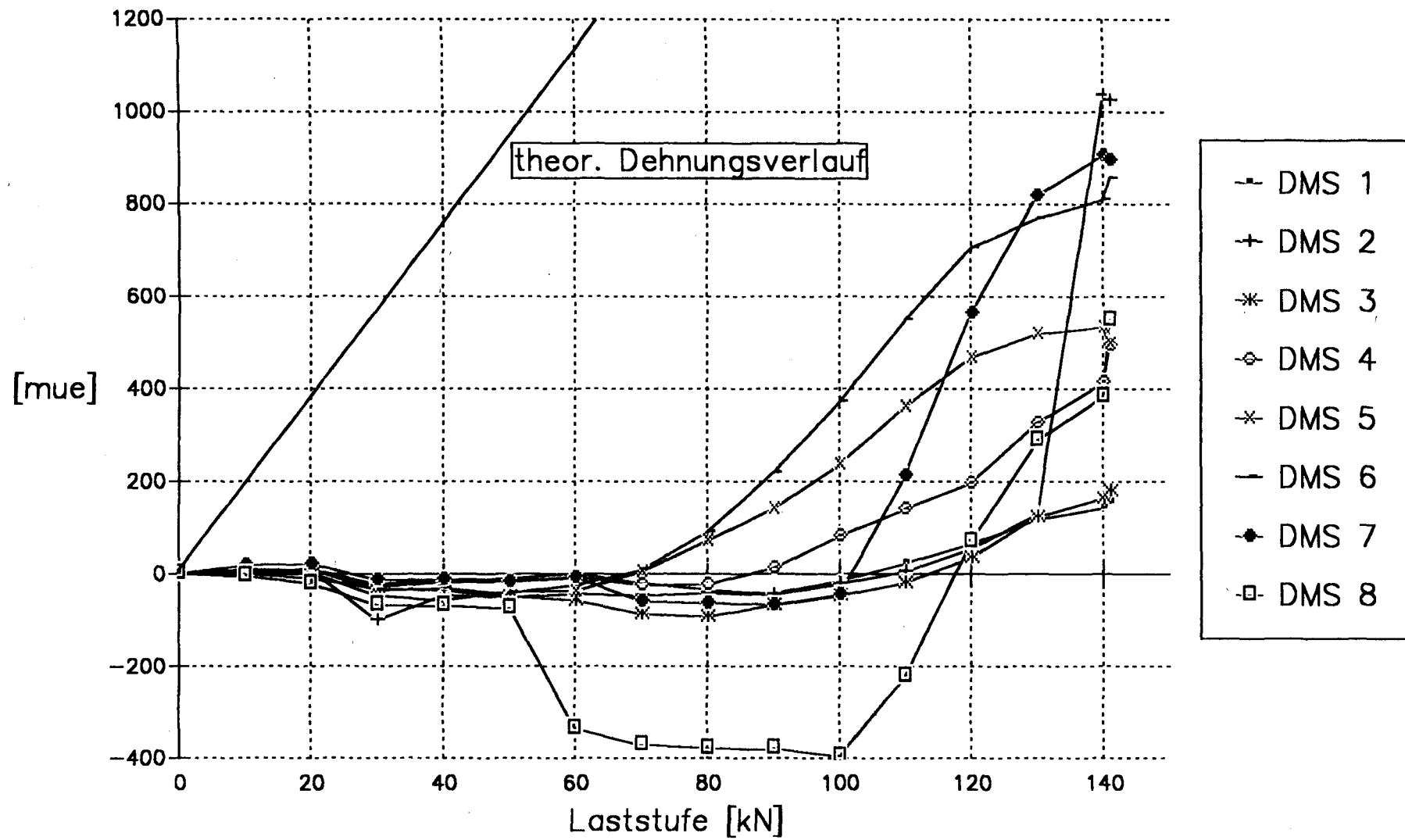
Versuch S1-V4 – Durchbiegungen der Platte, Meßstellen 3,11–13,8



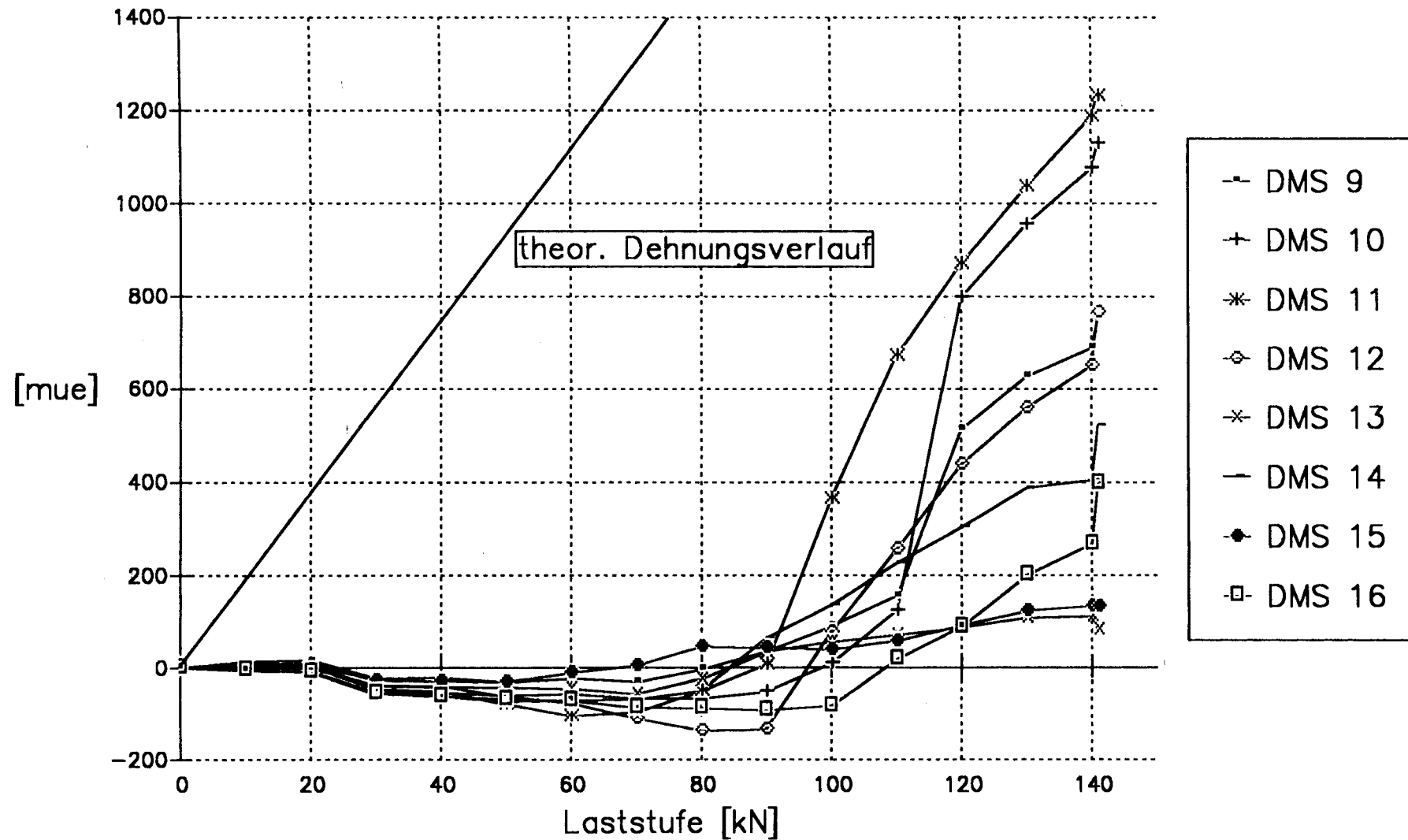
Versuch S1-V4 – Durchbiegung der Platte, Meßstellen 17–19



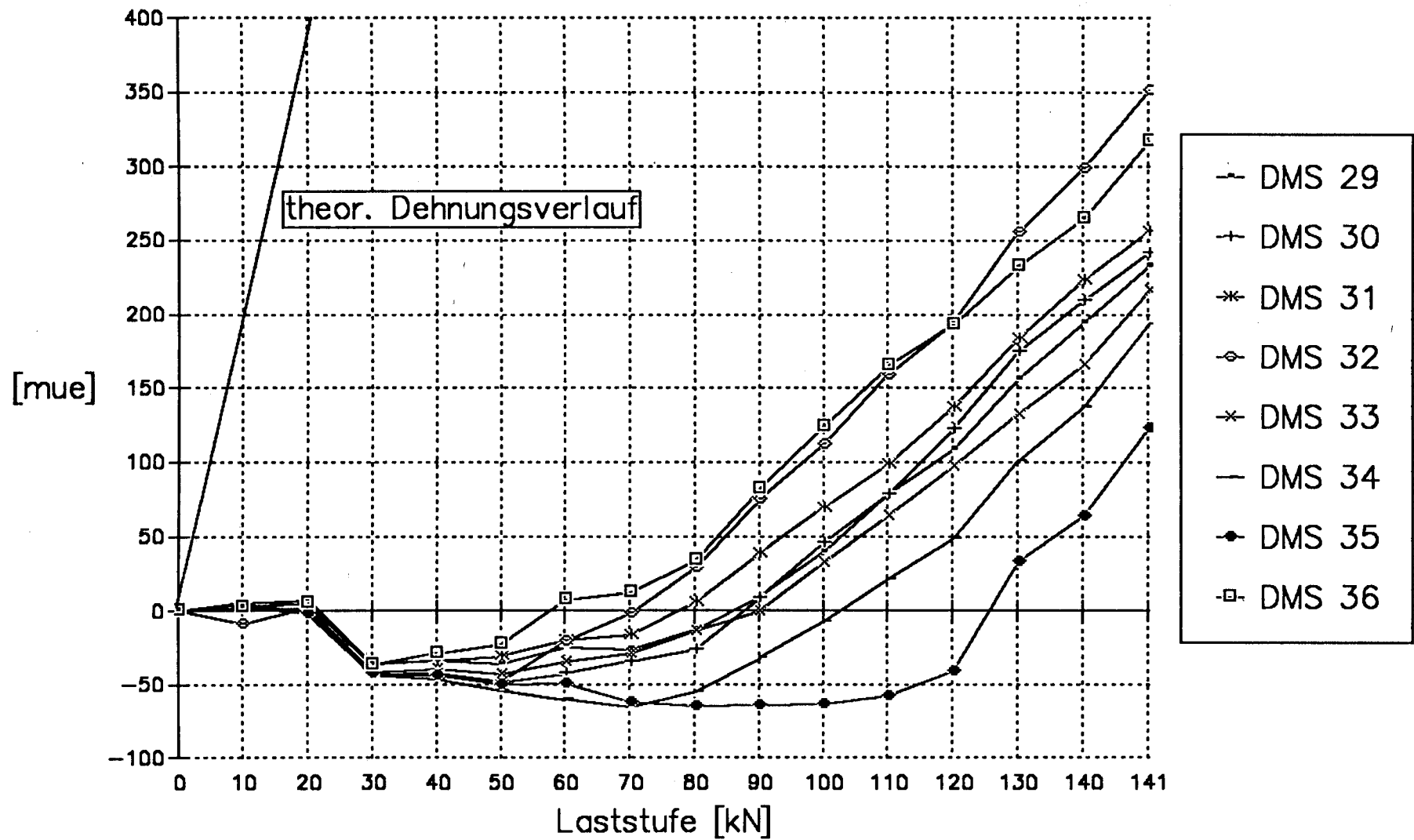
Versuch S1-V4 – DMS der Bügel, Balken V4/1



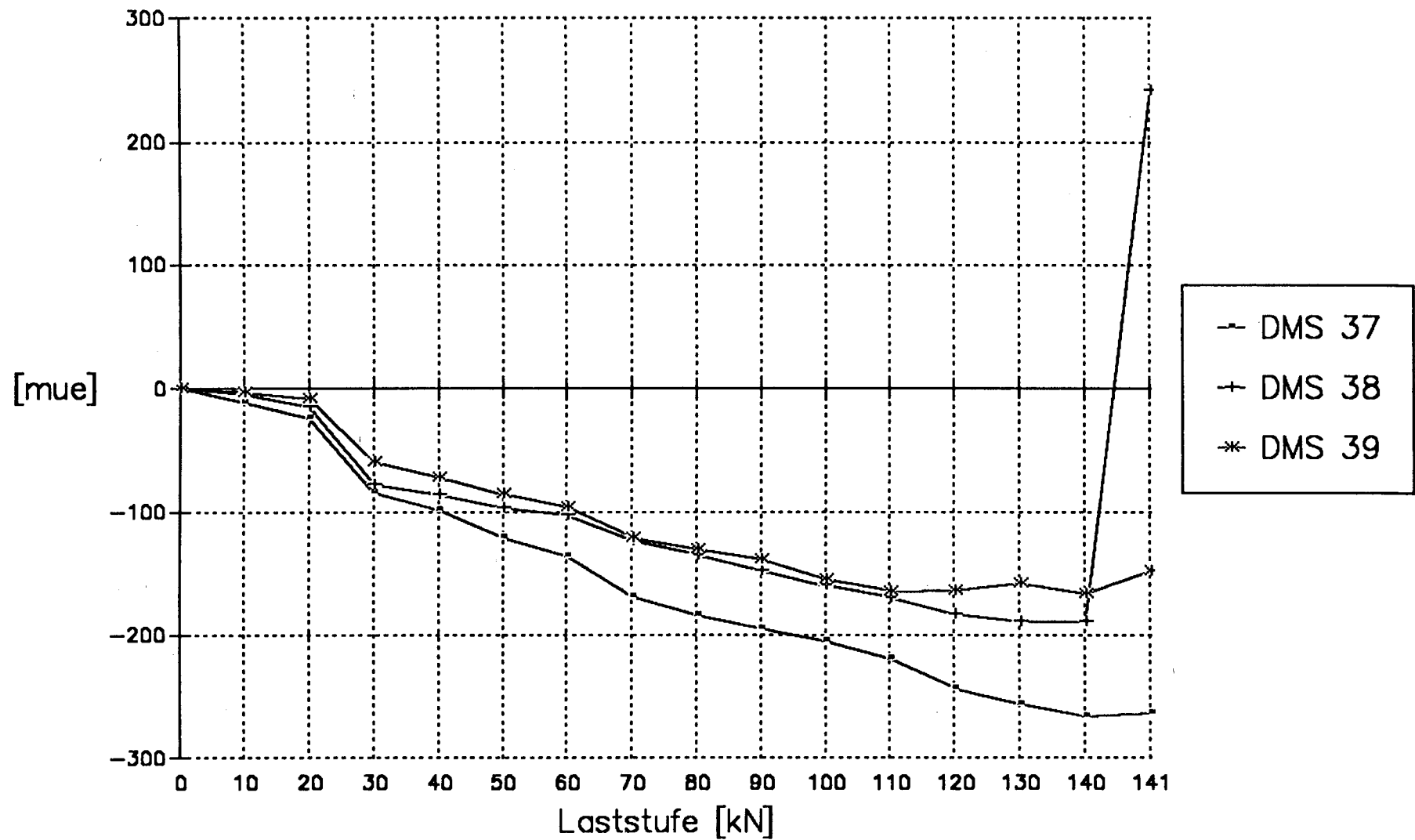
Versuch S1-V4 – DMS der Bügel, Balken V4/1



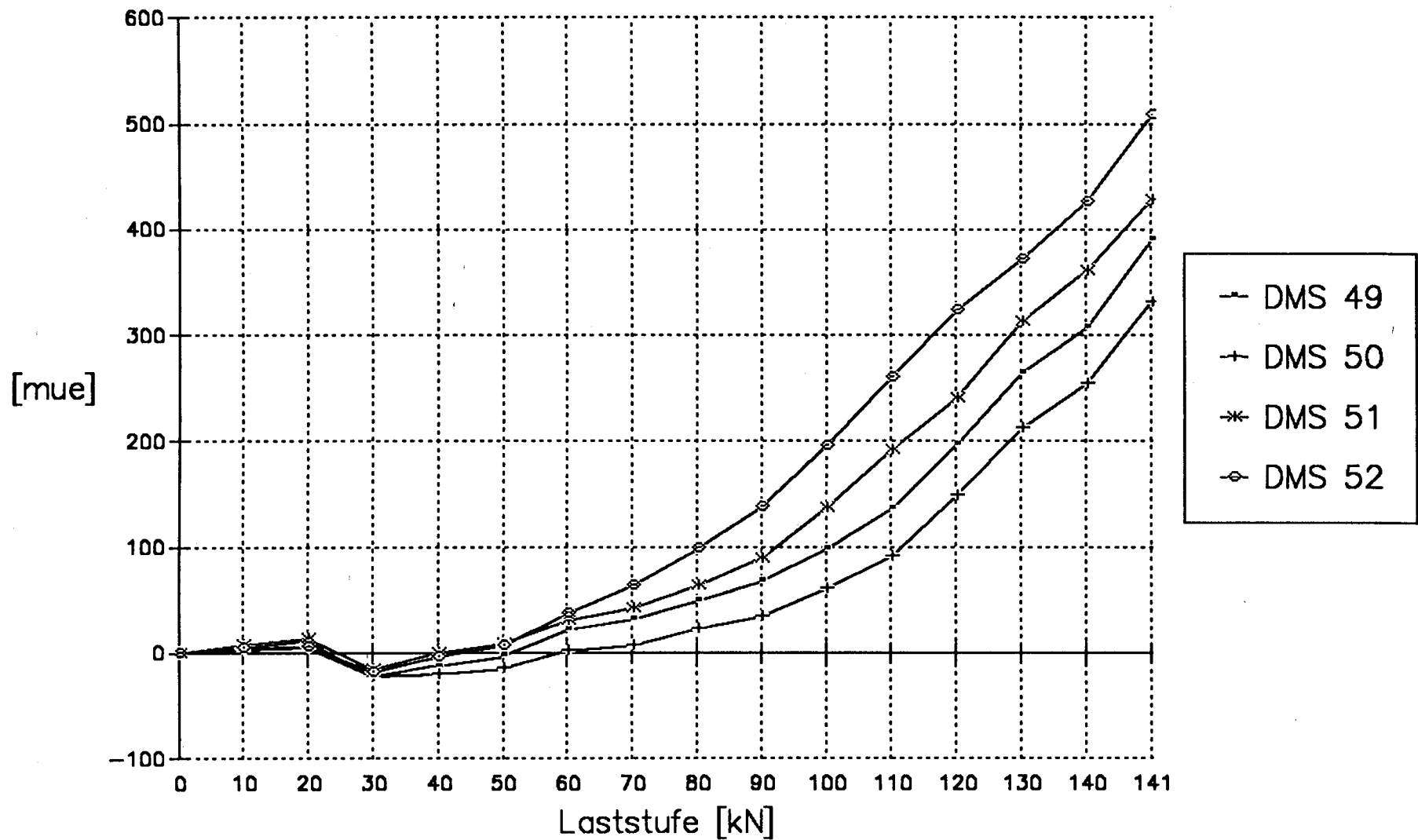
Versuch S1-V4 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



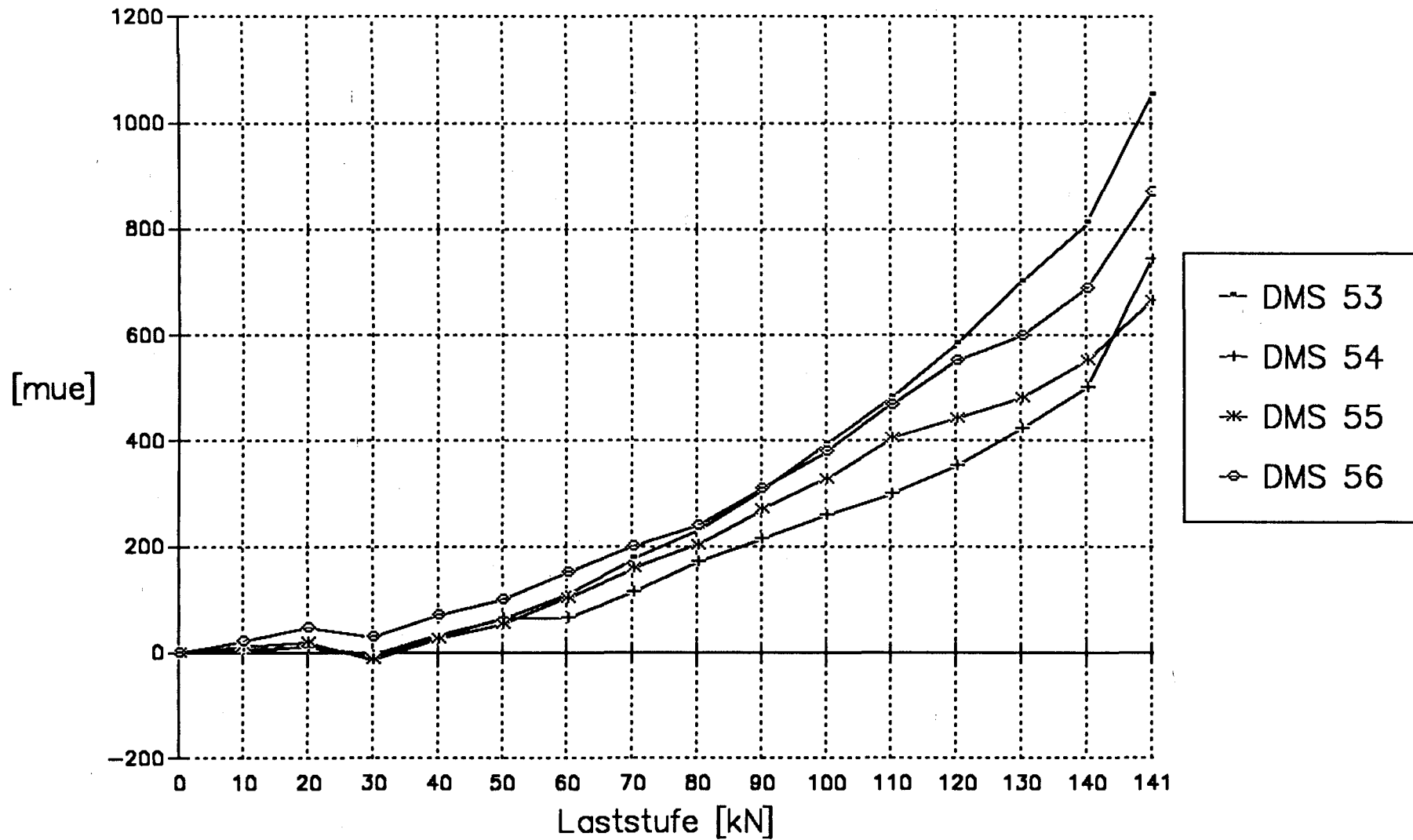
Versuch S1-V4 – DMS der Bügelabbiegungen



Versuch S1-V4 – DMS der Auflagerzulagen, Balken V4/1

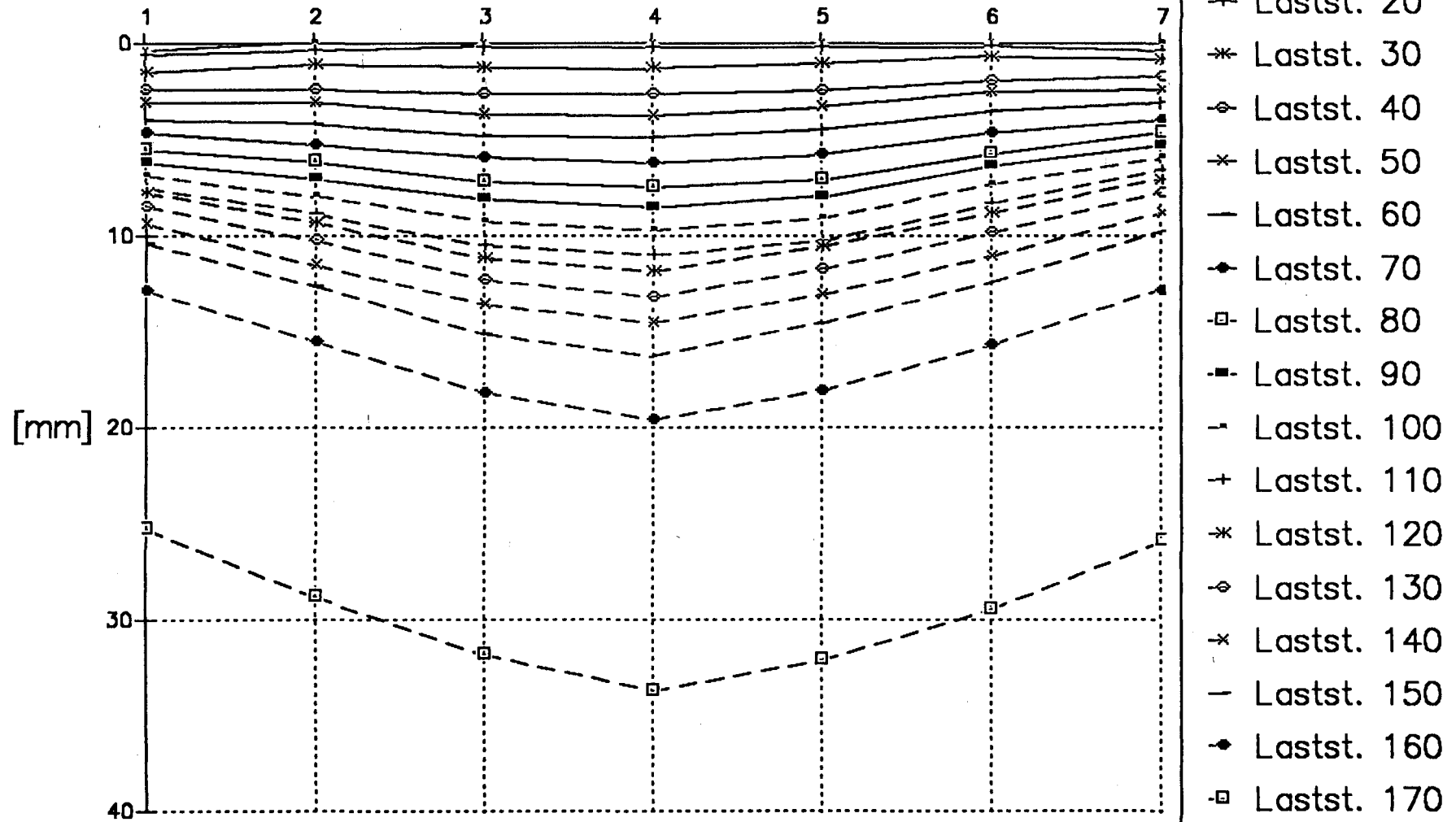


Versuch S1-V4 – DMS der Auflagerzulagen, Balken V4/2



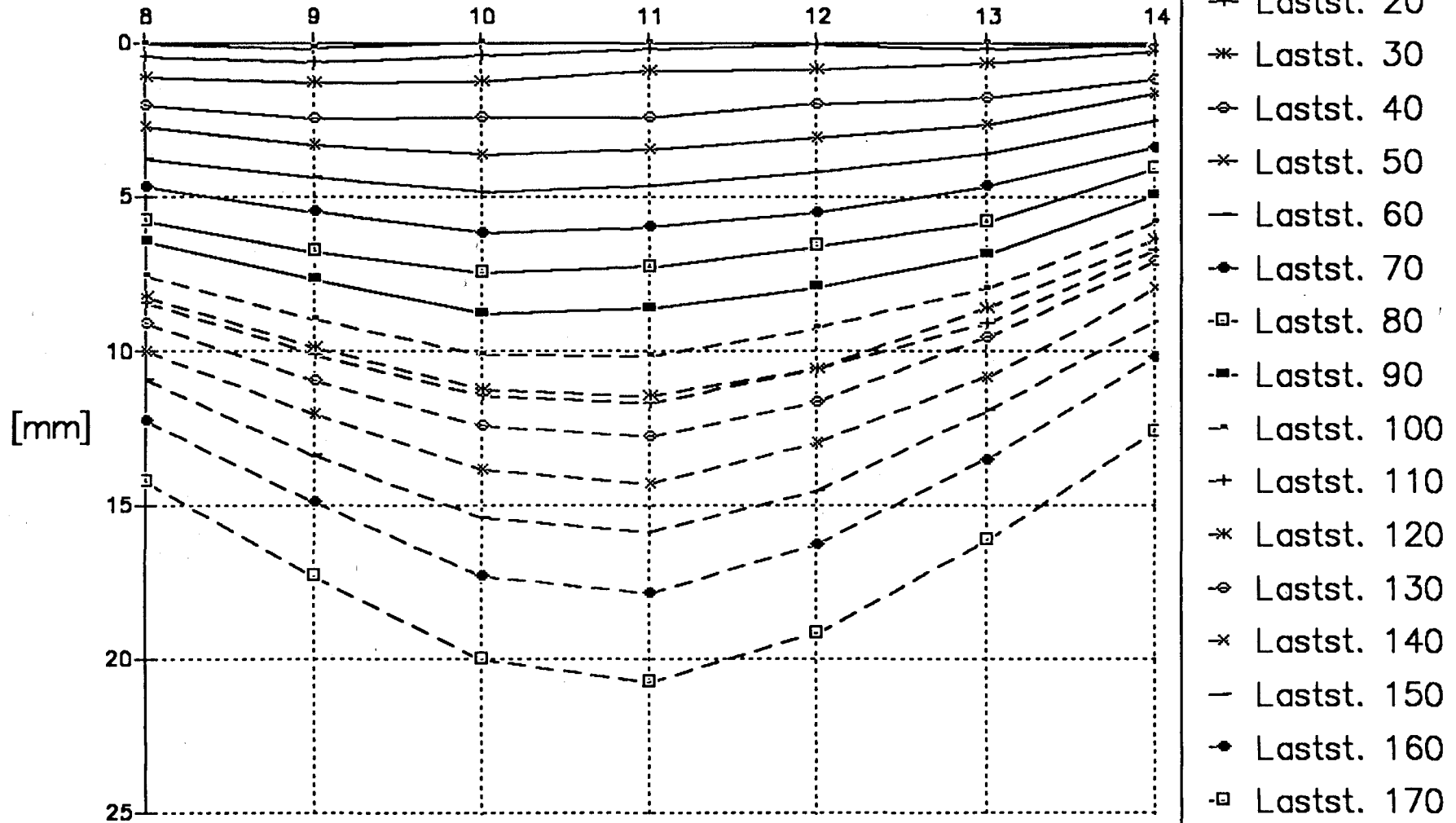
Versuch S2 - V1

Versuch S2-V1 – Durchbiegungen am Plattenrand
Meßstelle



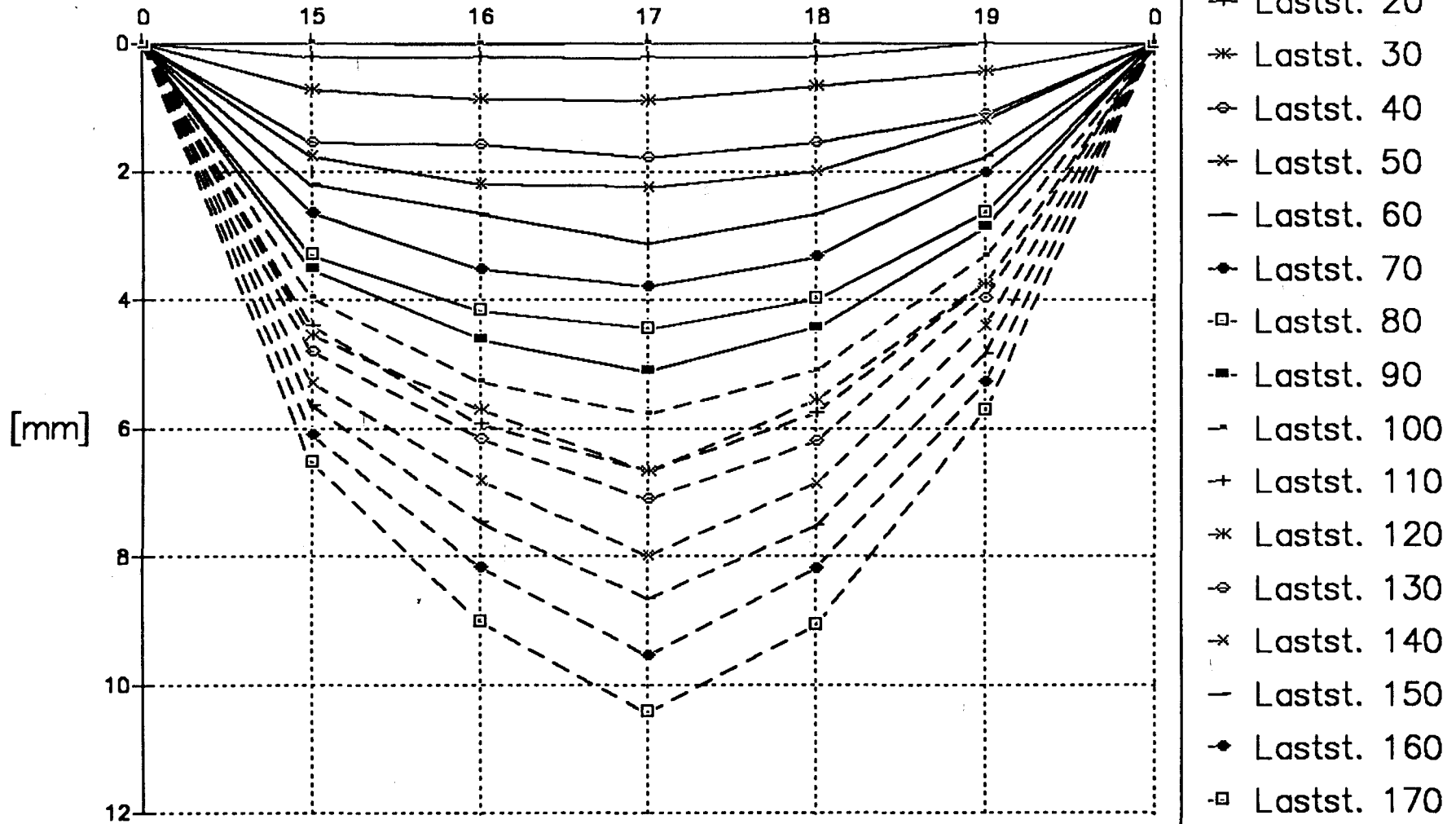
Versuch S2-V1 – Durchbiegungen am Plattenrand

Meßstelle

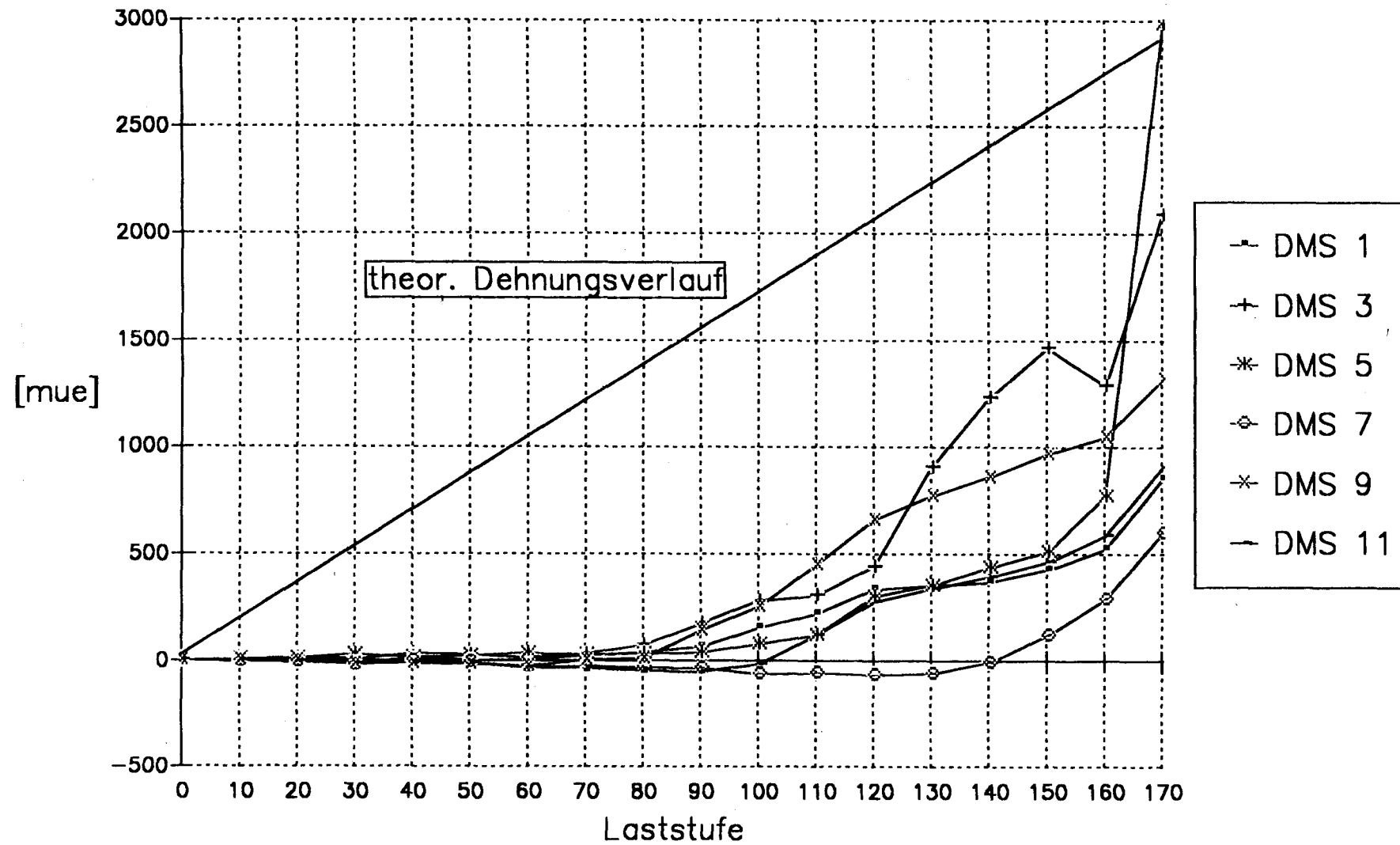


Versuch S2-V1 – Durchbiegungen in Balkenmitte

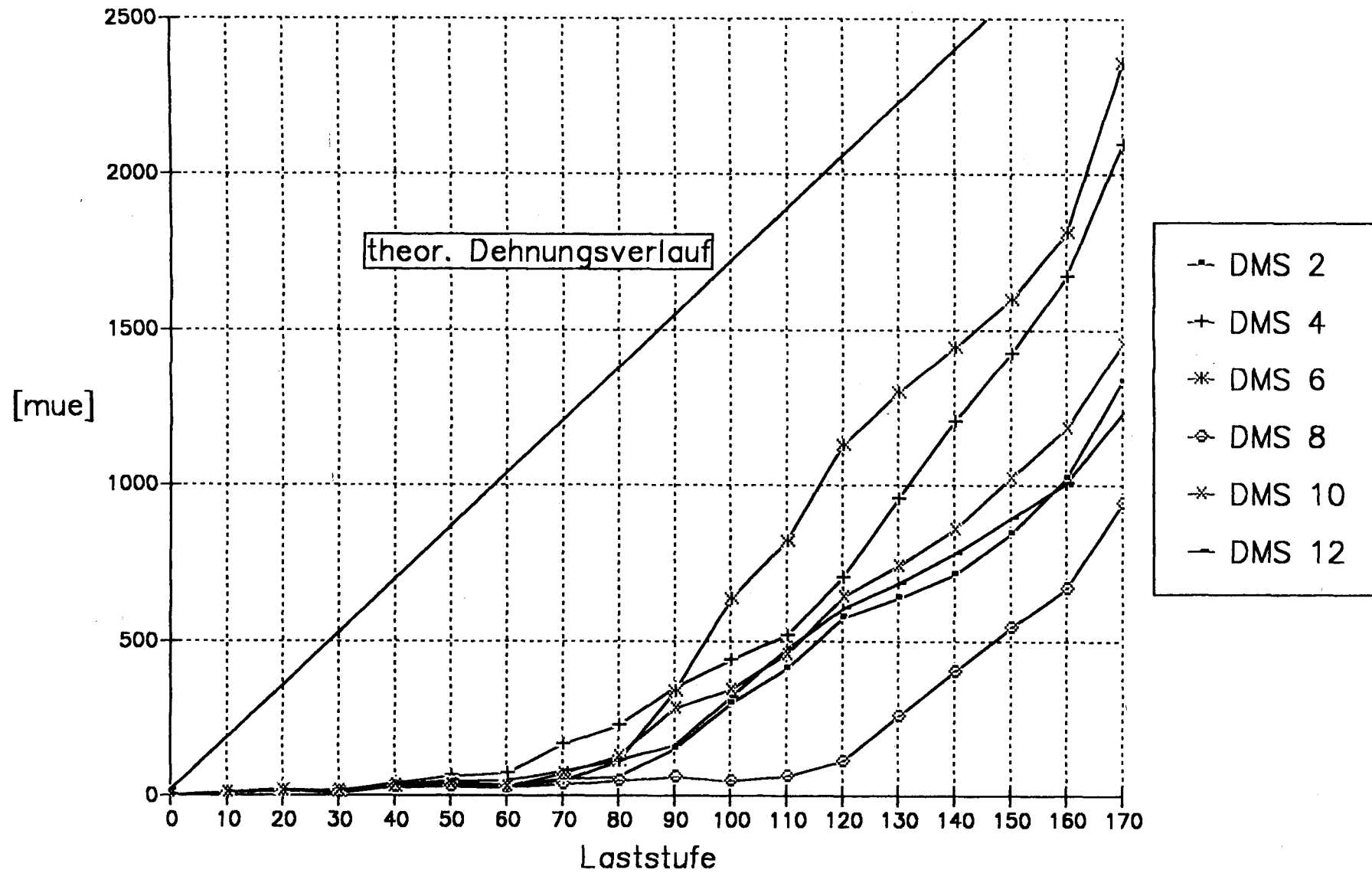
Meßstelle



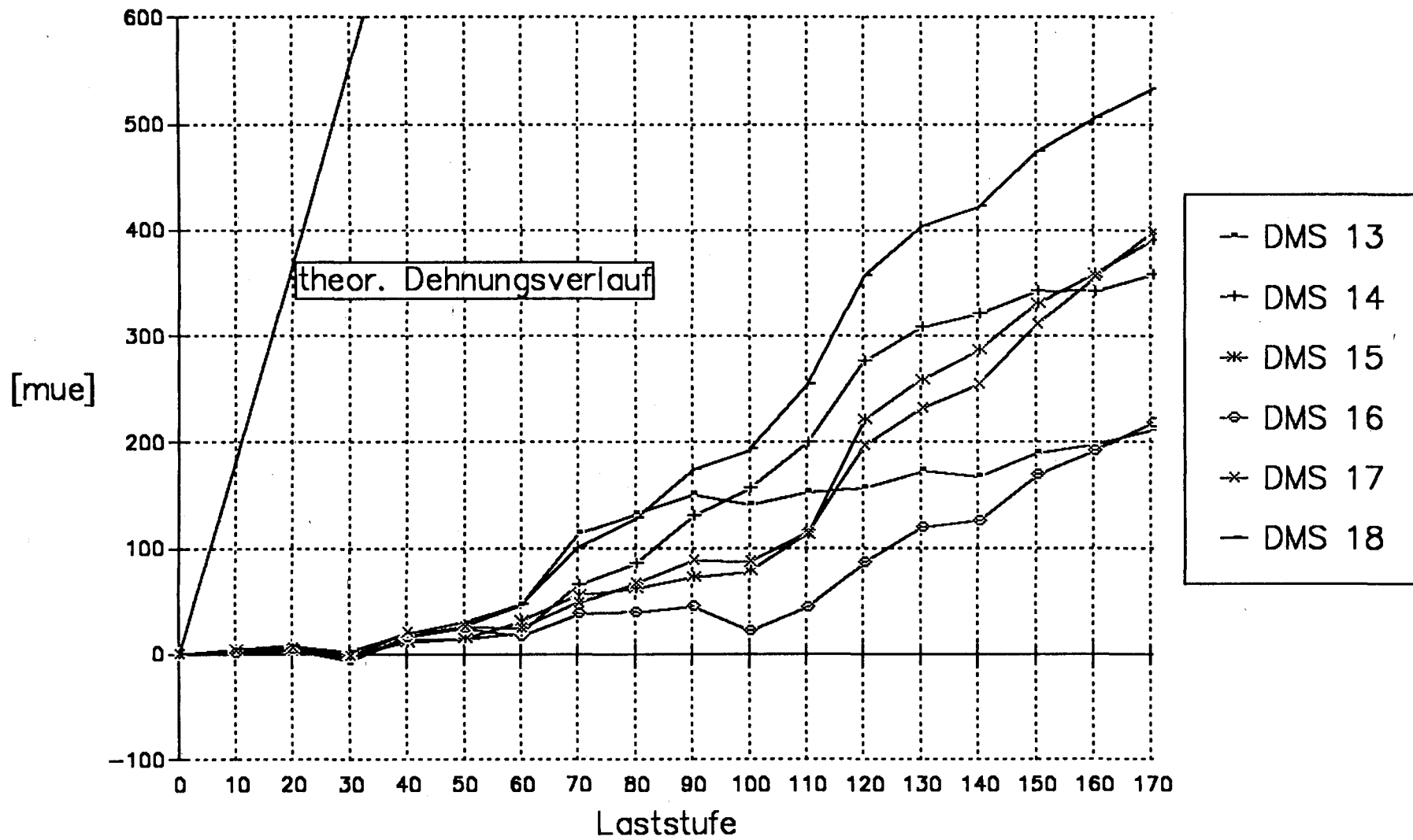
Versuch S2-V1 – DMS der Bügel



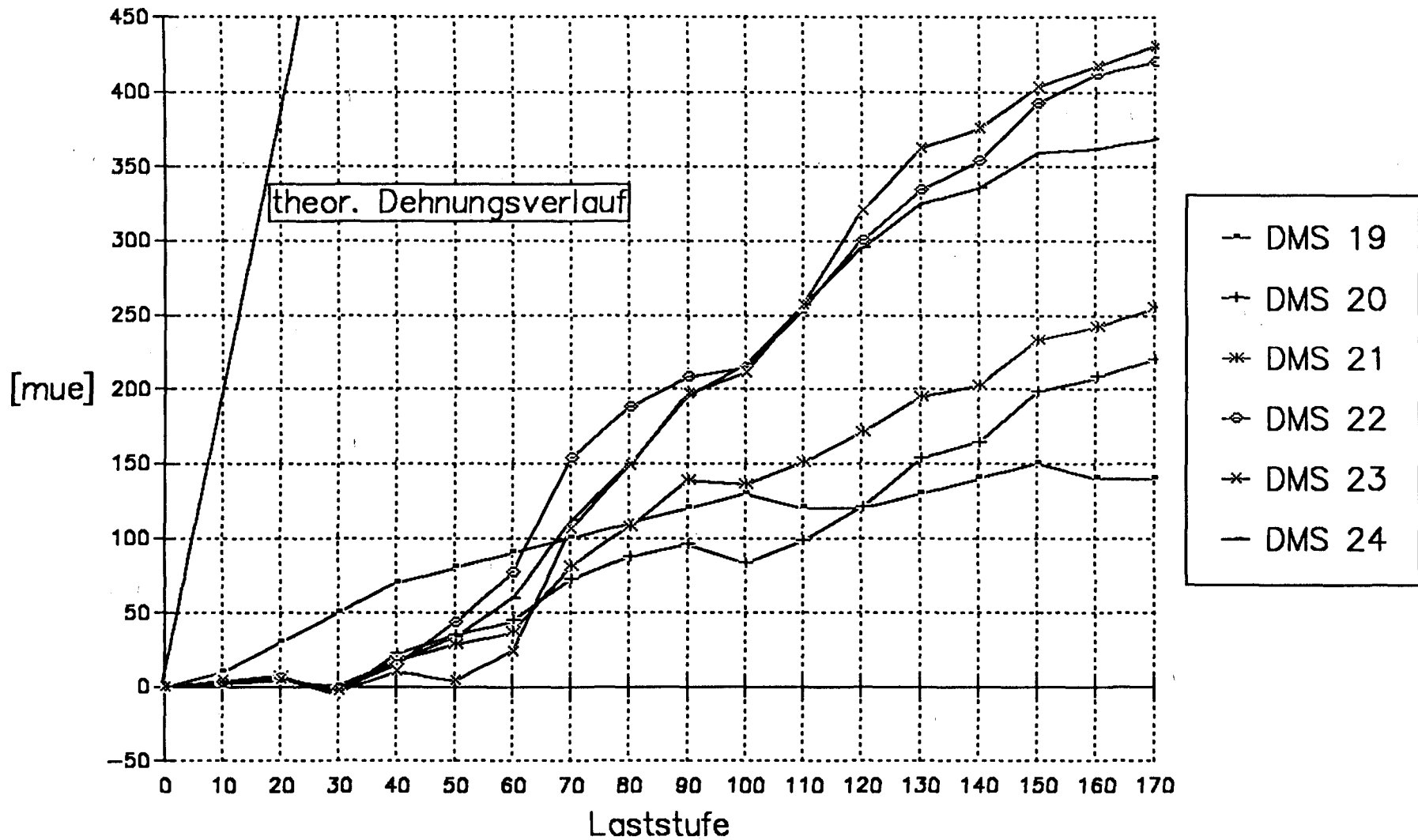
Versuch S2-V1 – DMS der Bügel



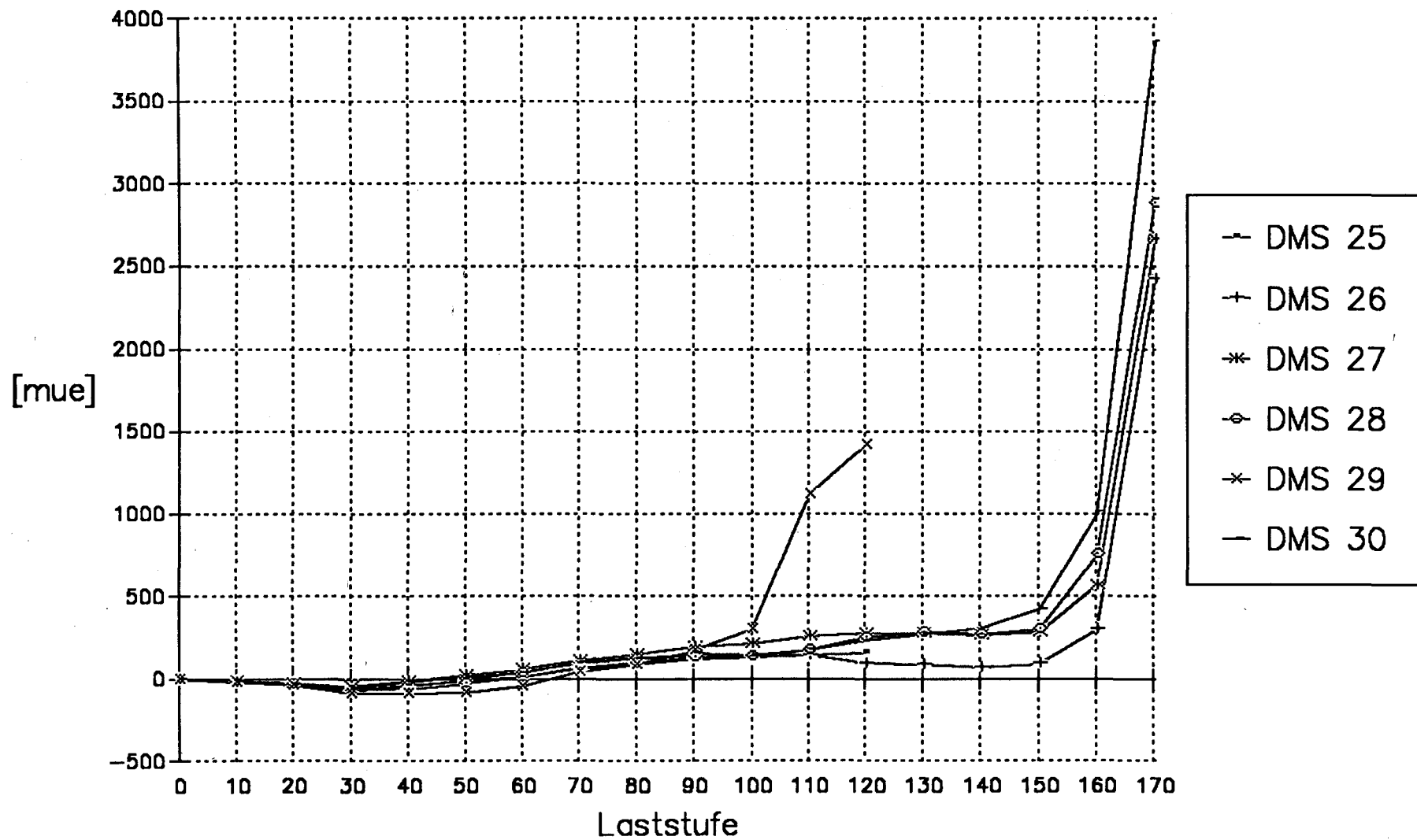
Versuch S2-V1 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



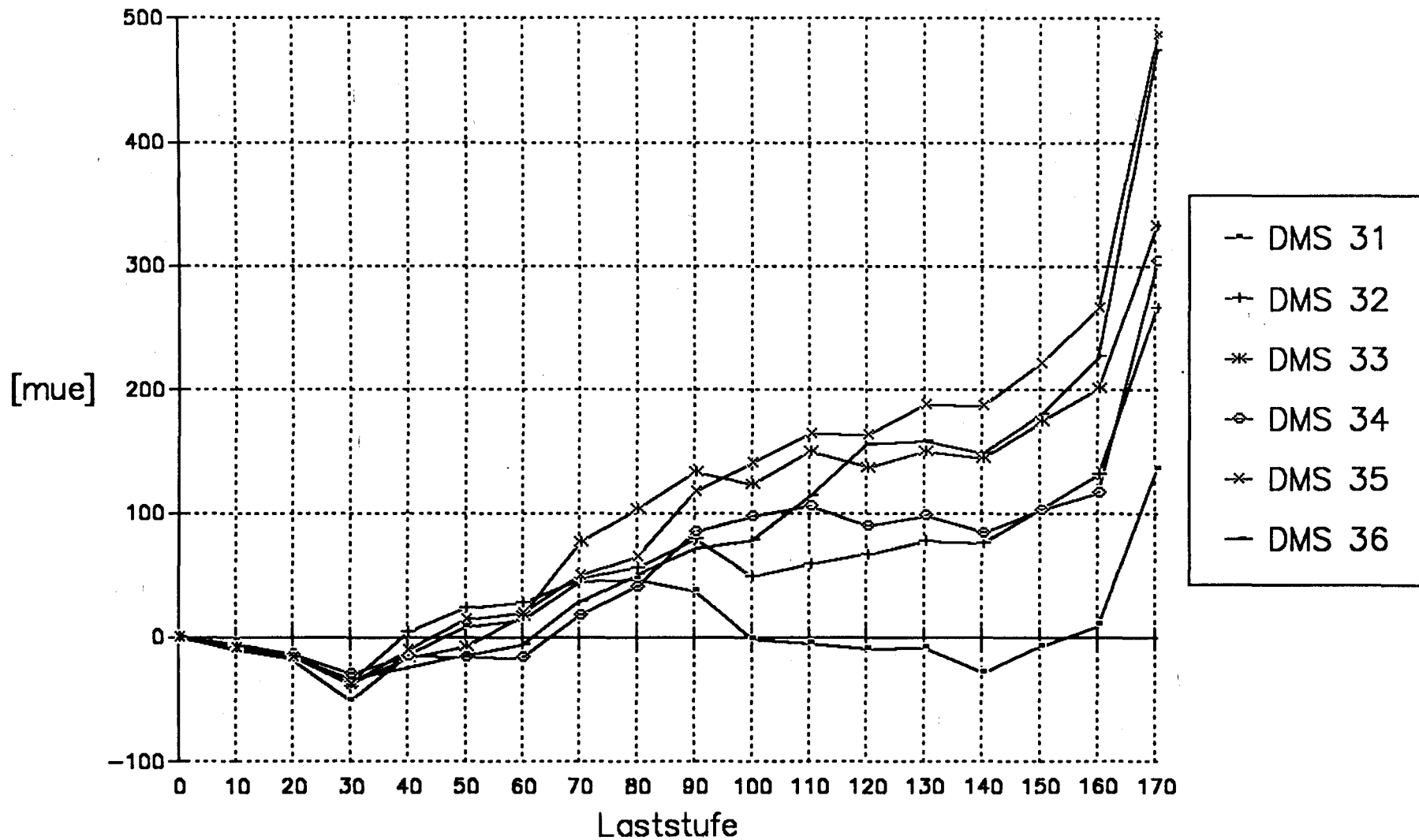
Versuch S2-V1 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



Versuch S2-V1 – DMS der Endverankerungen

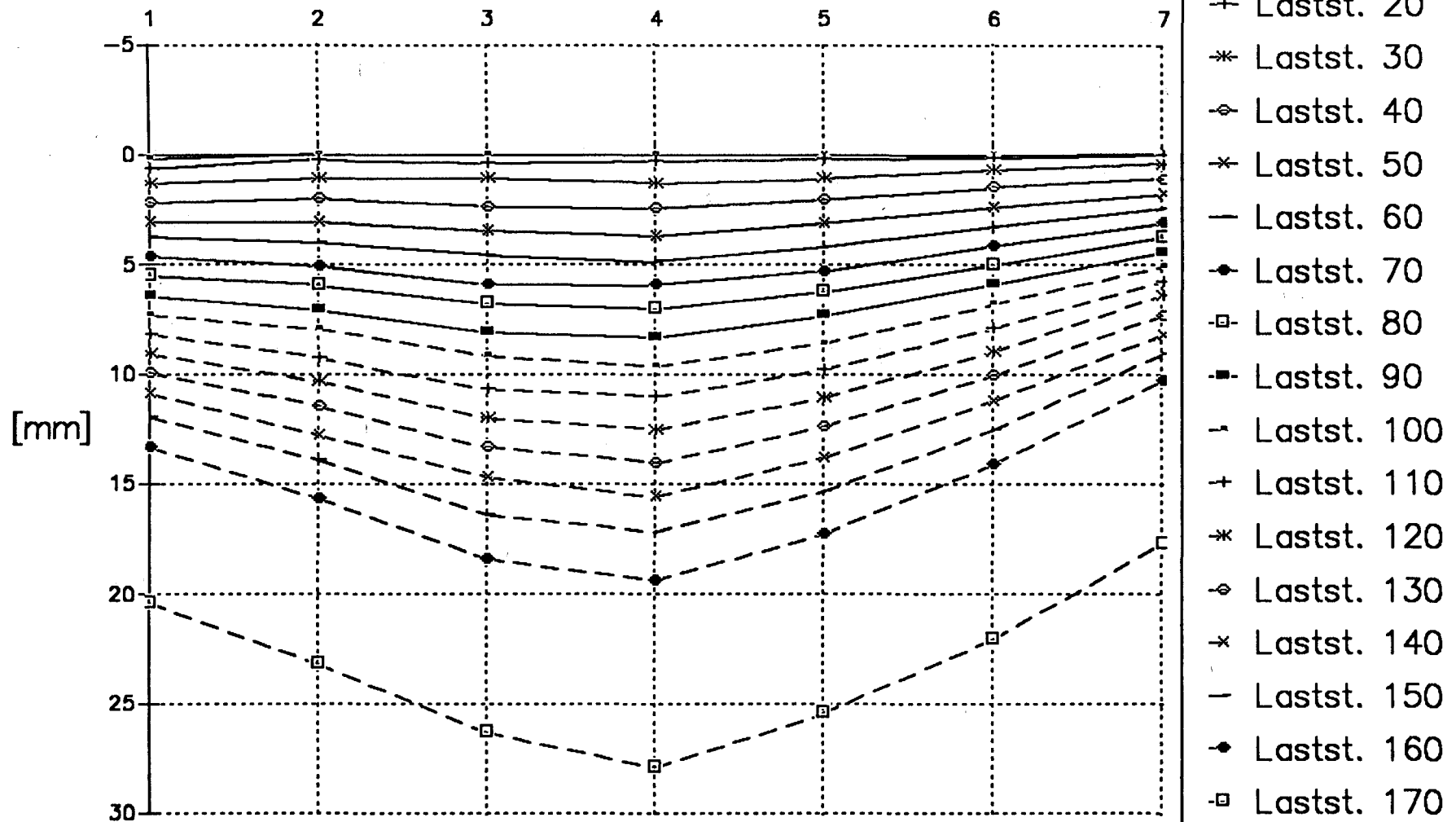


Versuch S2-V1 – DMS der Endverankerungen

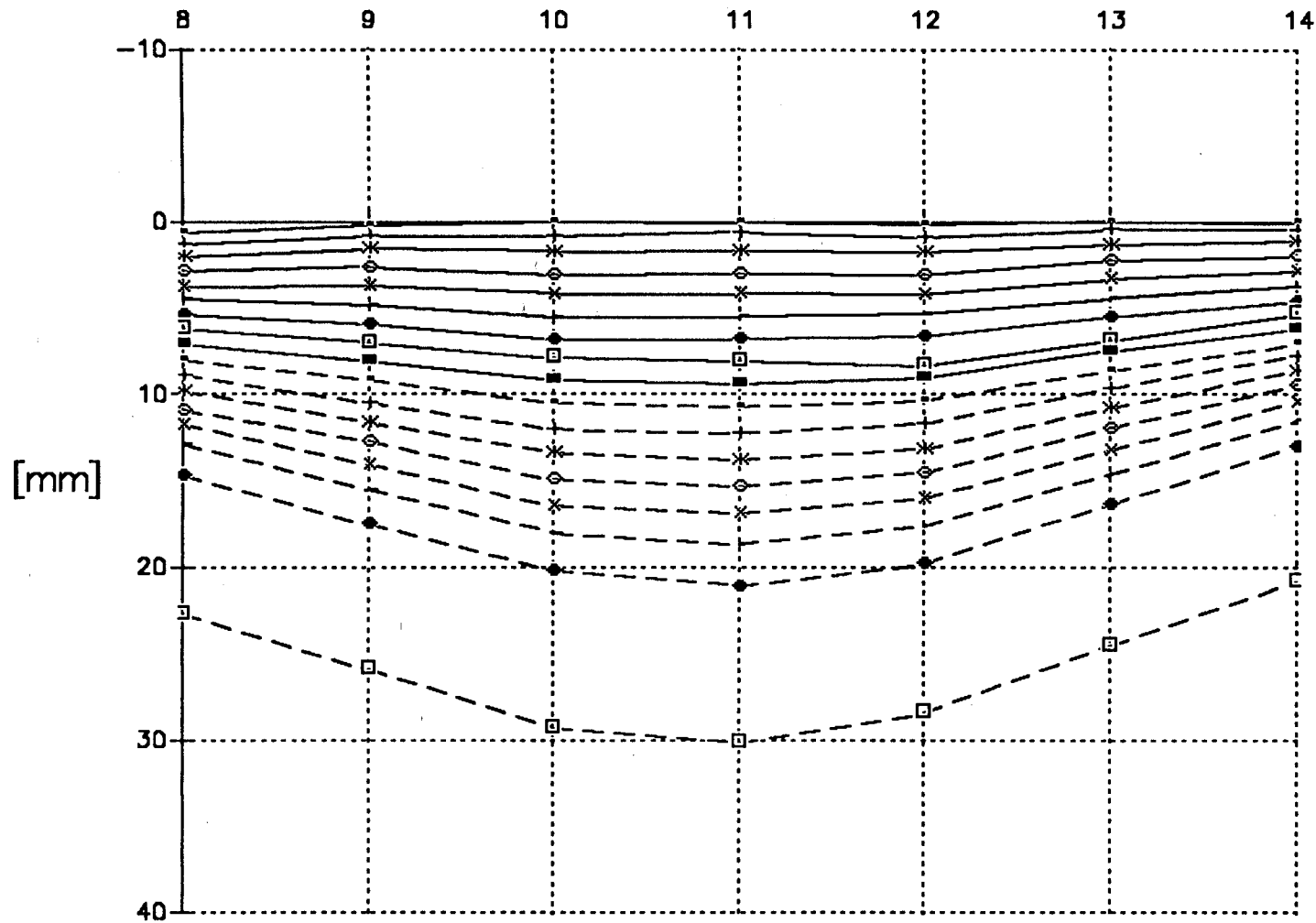


Versuch S2 - V2

Versuch S2-V2 – Durchbiegungen am Plattenrand
Meßstelle



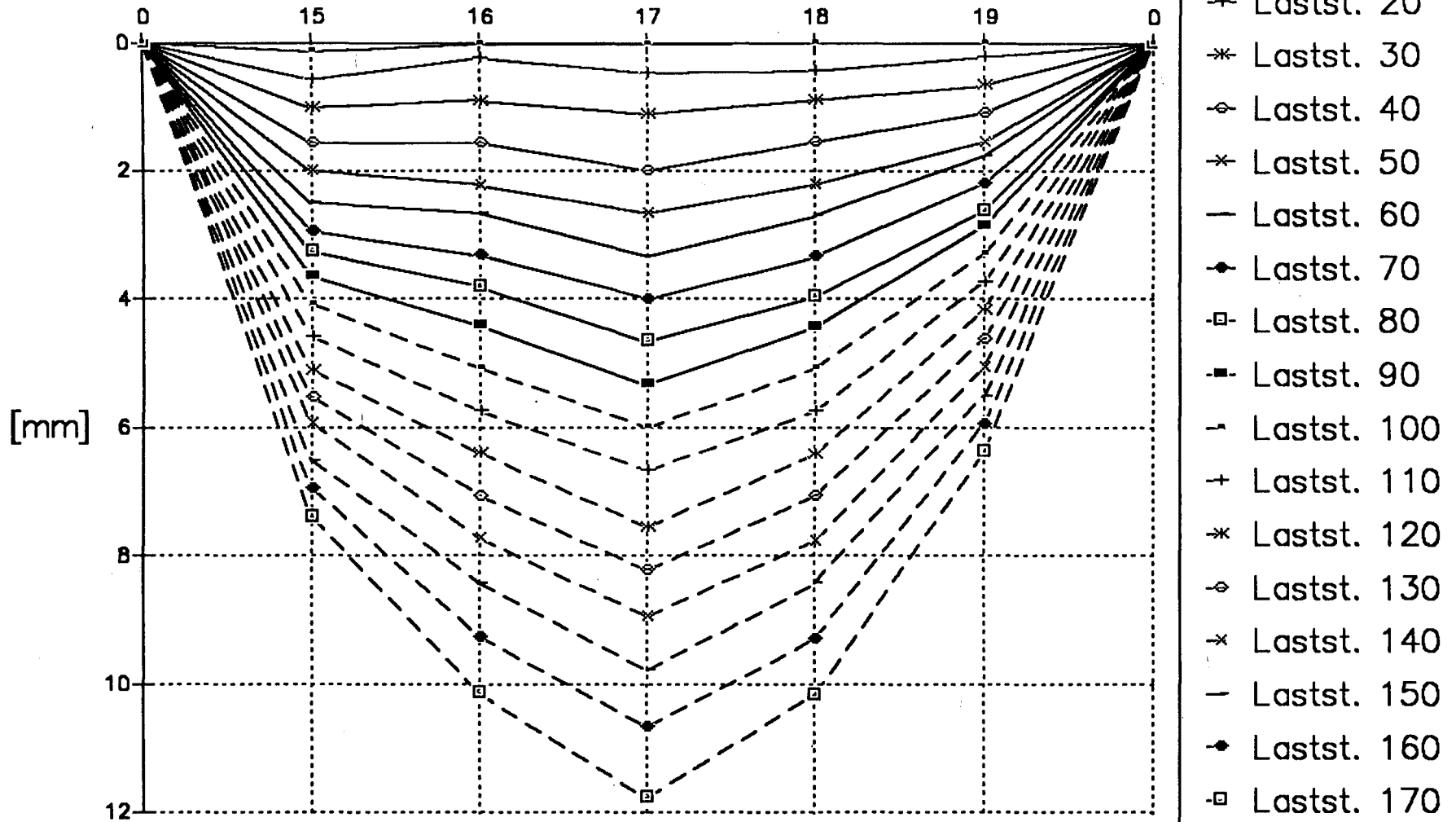
Versuch S2-V2 – Durchbiegungen am Plattenrand
Meßstelle



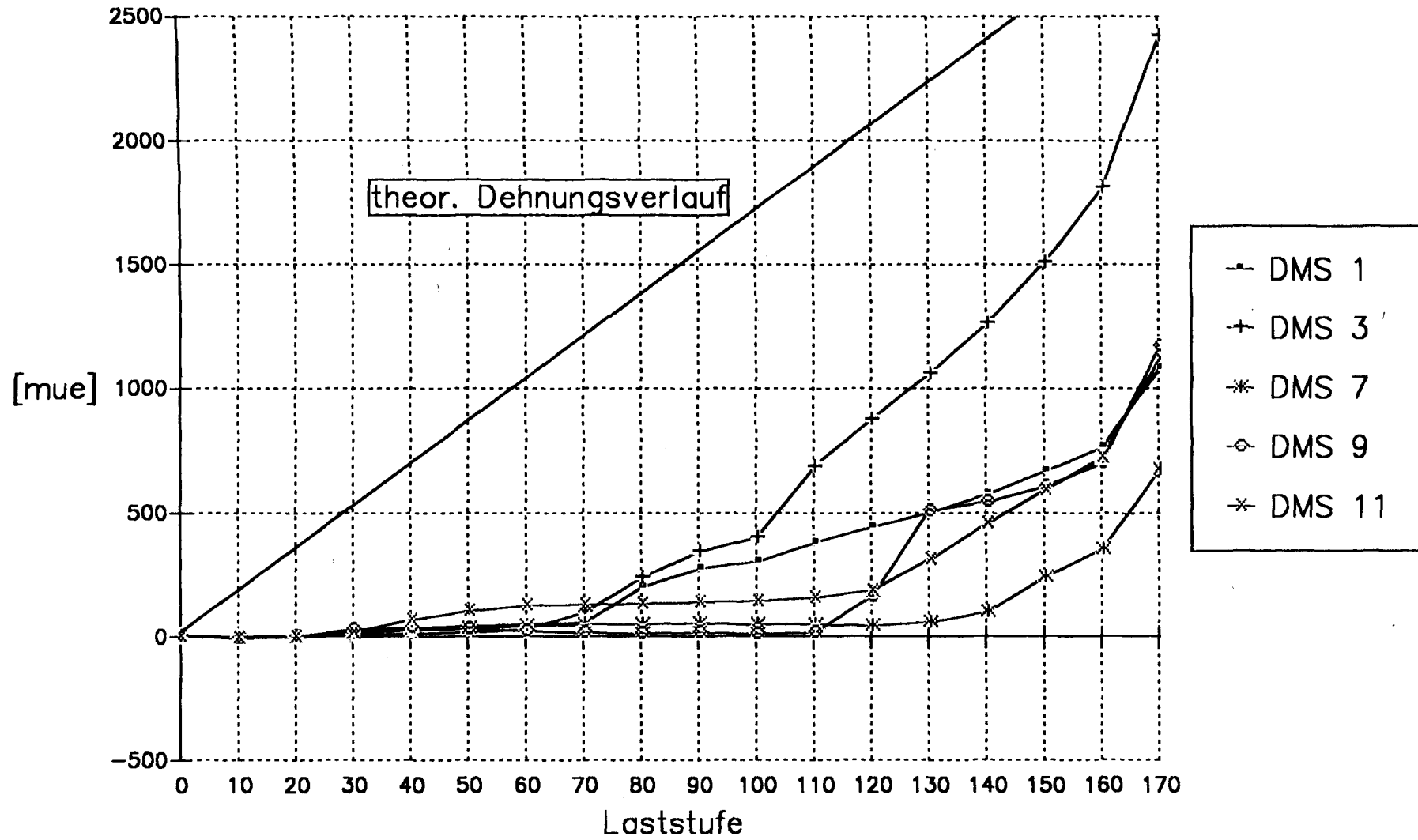
- Lastst. 10
- + Lastst. 20
- * Lastst. 30
- ◇ Lastst. 40
- × Lastst. 50
- Lastst. 60
- Lastst. 70
- Lastst. 80
- Lastst. 90
- Lastst. 100
- + Lastst. 110
- * Lastst. 120
- ◇ Lastst. 130
- × Lastst. 140
- Lastst. 150
- Lastst. 160
- Lastst. 170

Versuch S2-V2 – Durchbiegungen in Balkenmitte

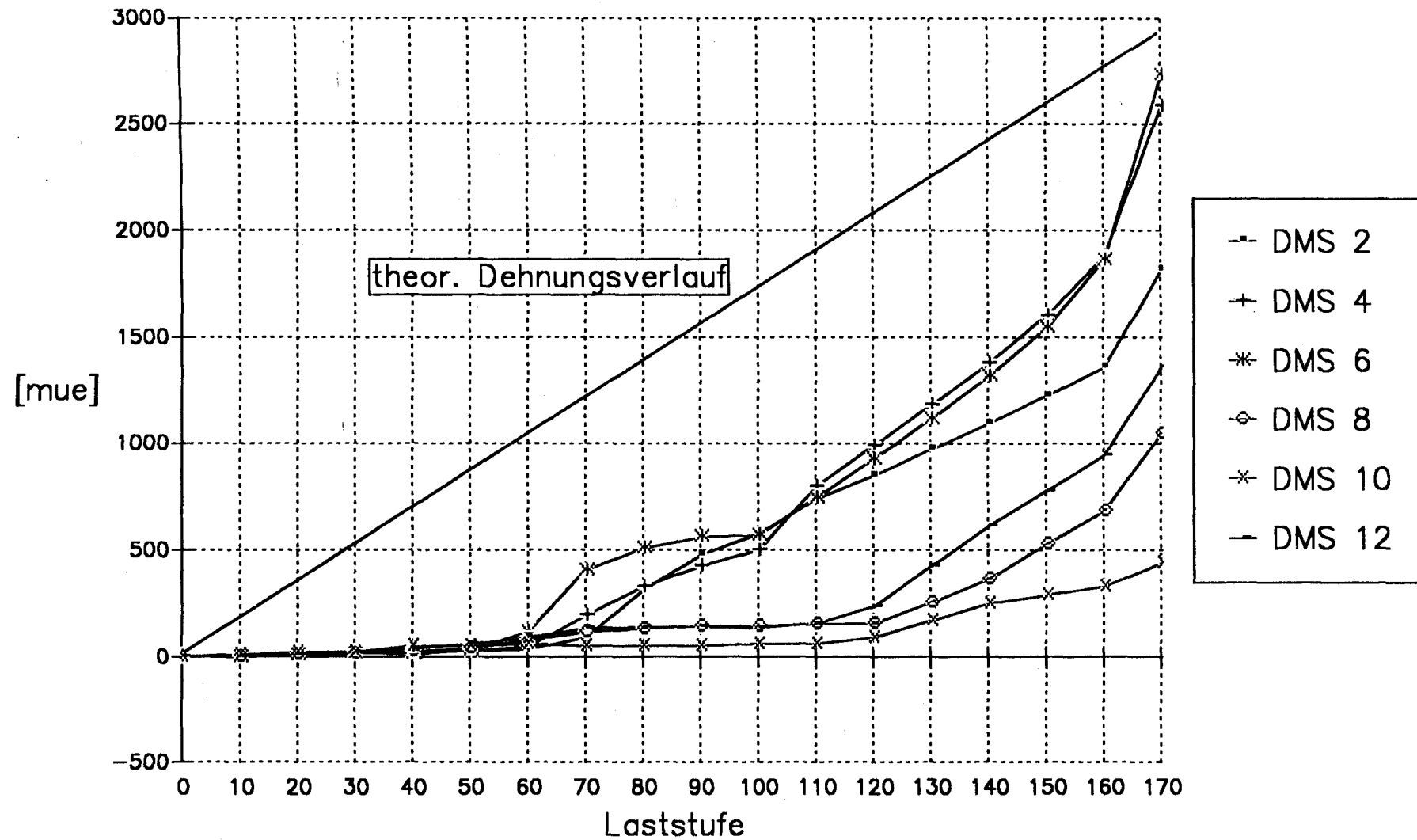
Meßstelle



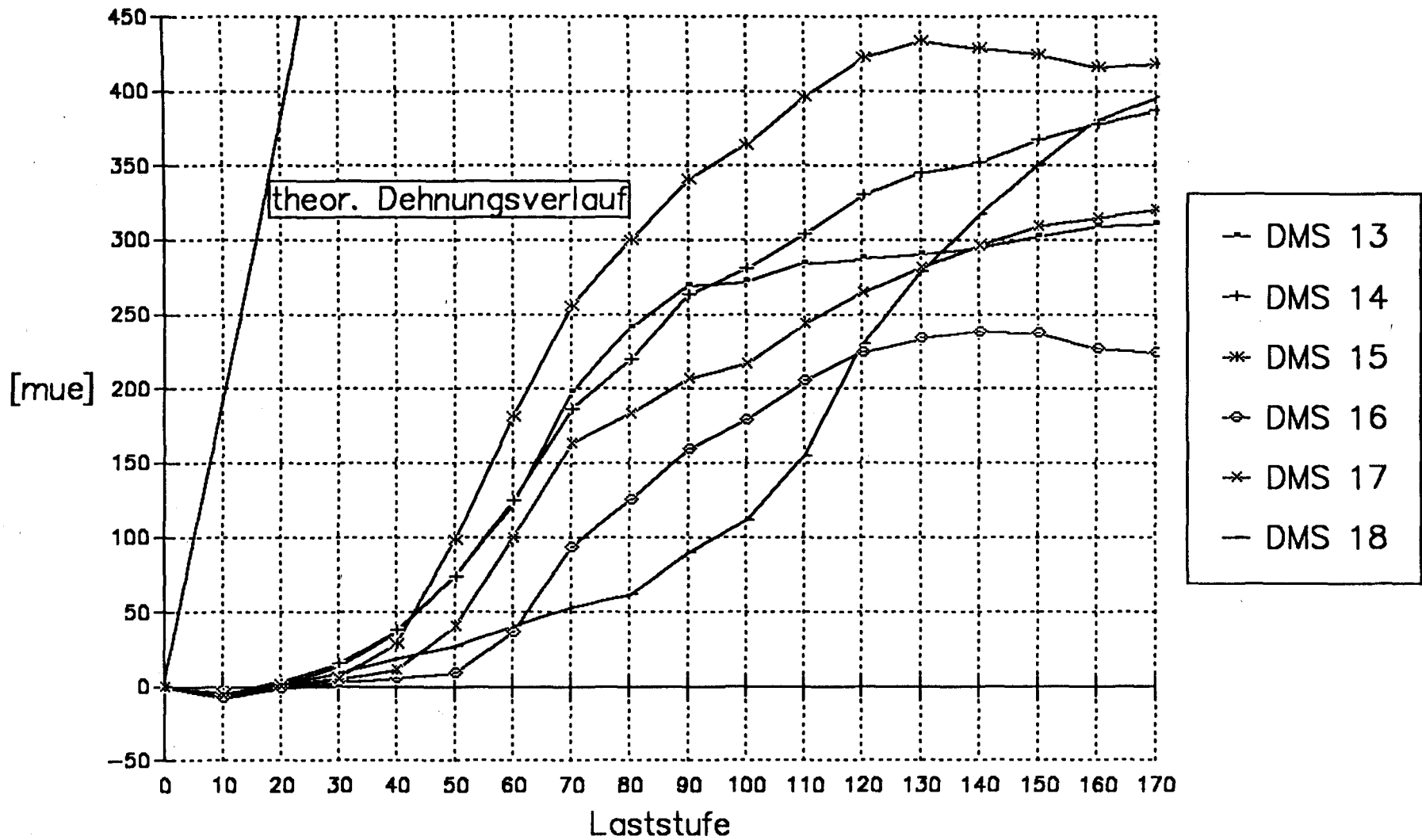
Versuch S2-V2 – DMS der Bügel



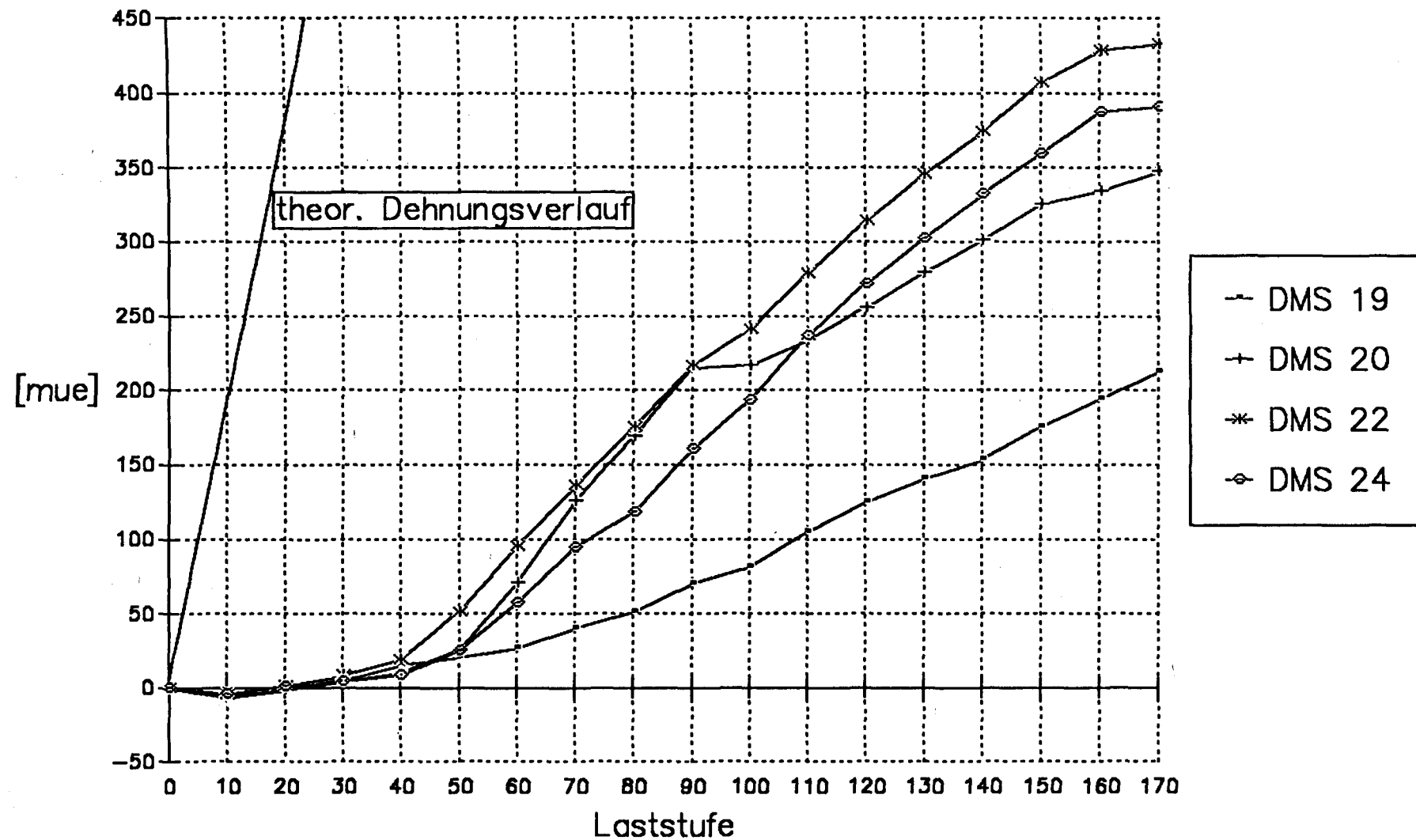
Versuch S2-V2 – DMS der Bügel



Versuch S2-V2 – DMS der Gitterträgerdiagonalen

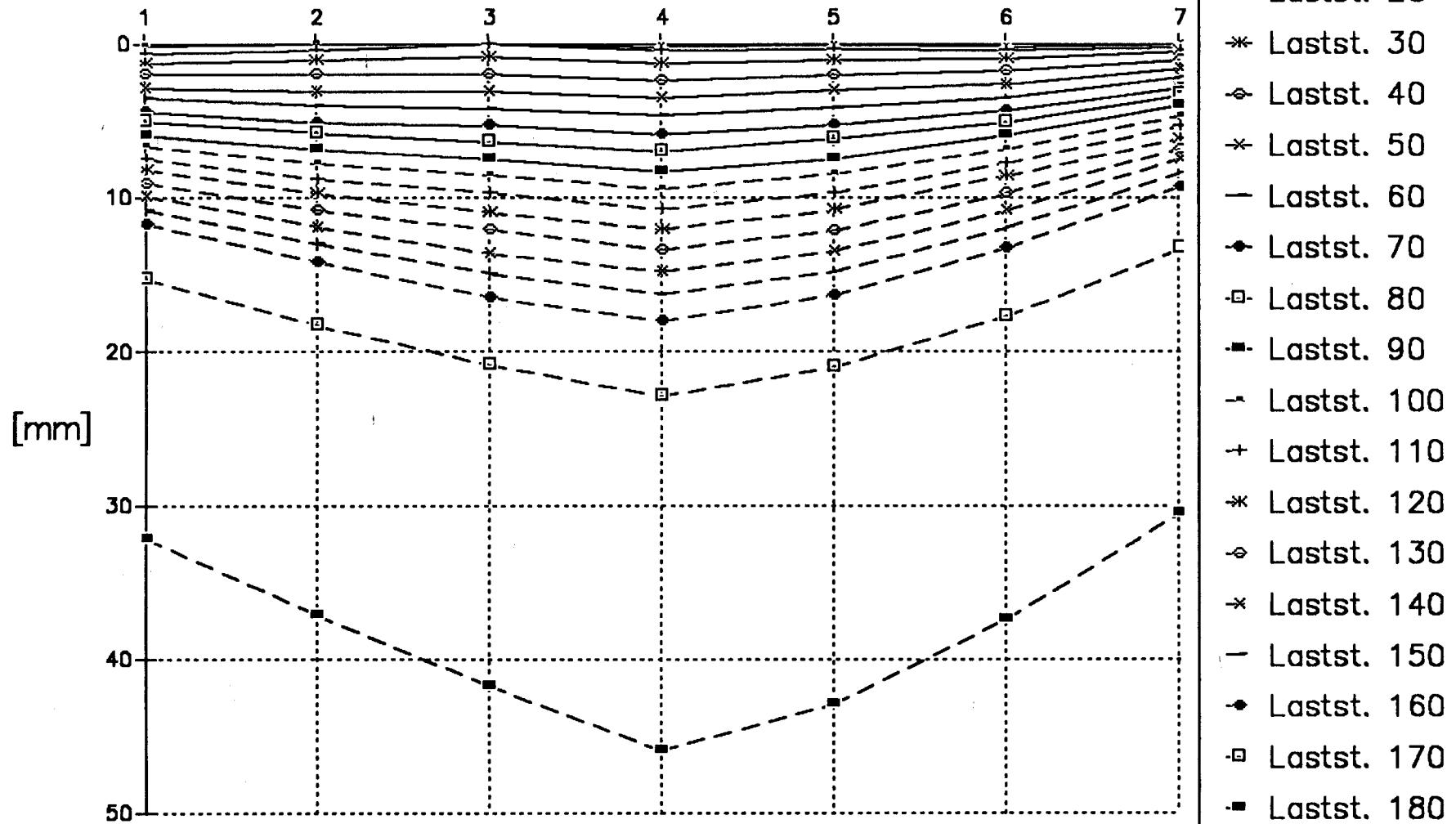


Versuch S2-V2 – DMS der Gitterträgerdiagonalen

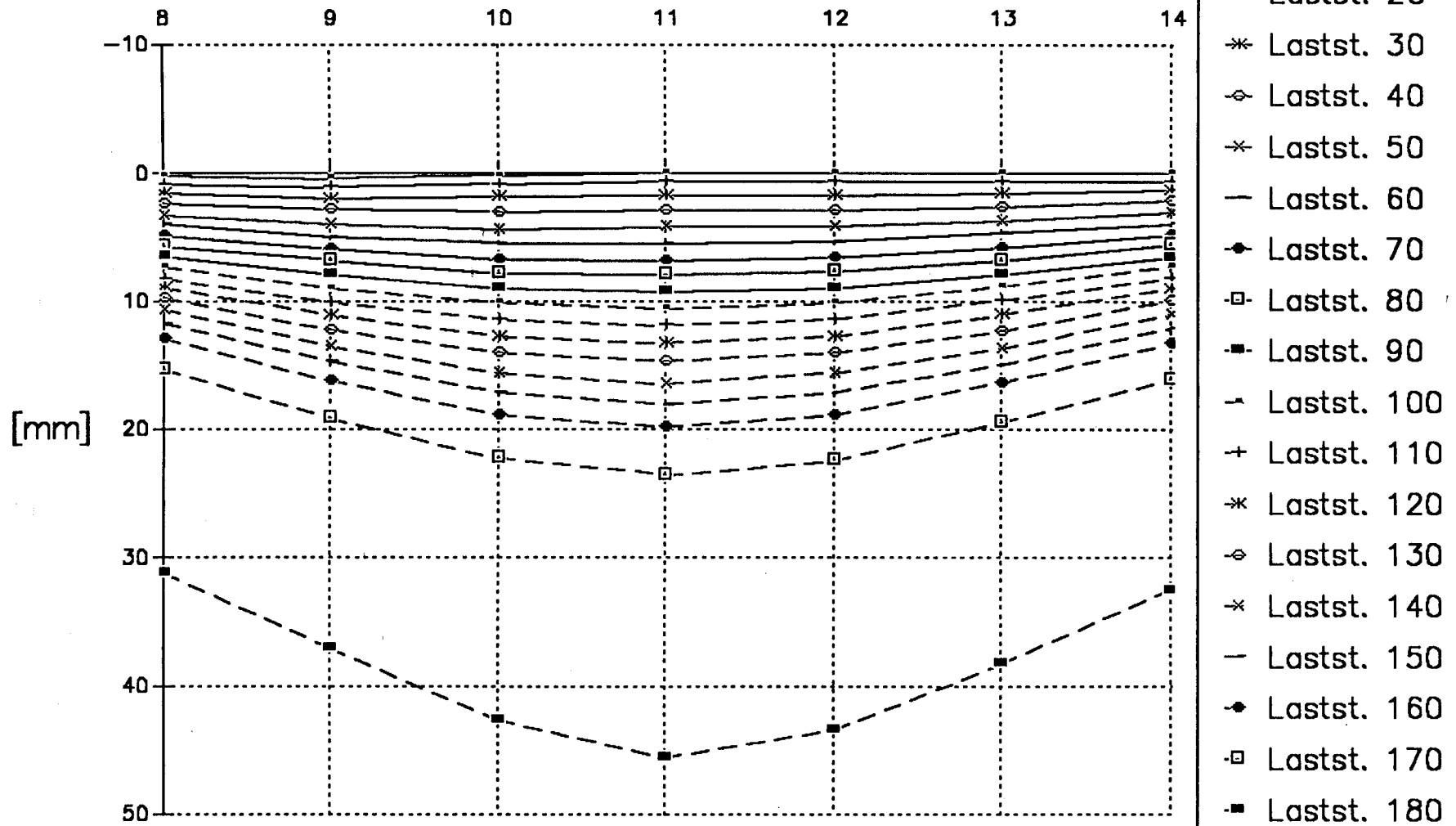


Versuch S2 – V3

Versuch S2-V3 – Durchbiegungen am Plattenrand Meßstelle

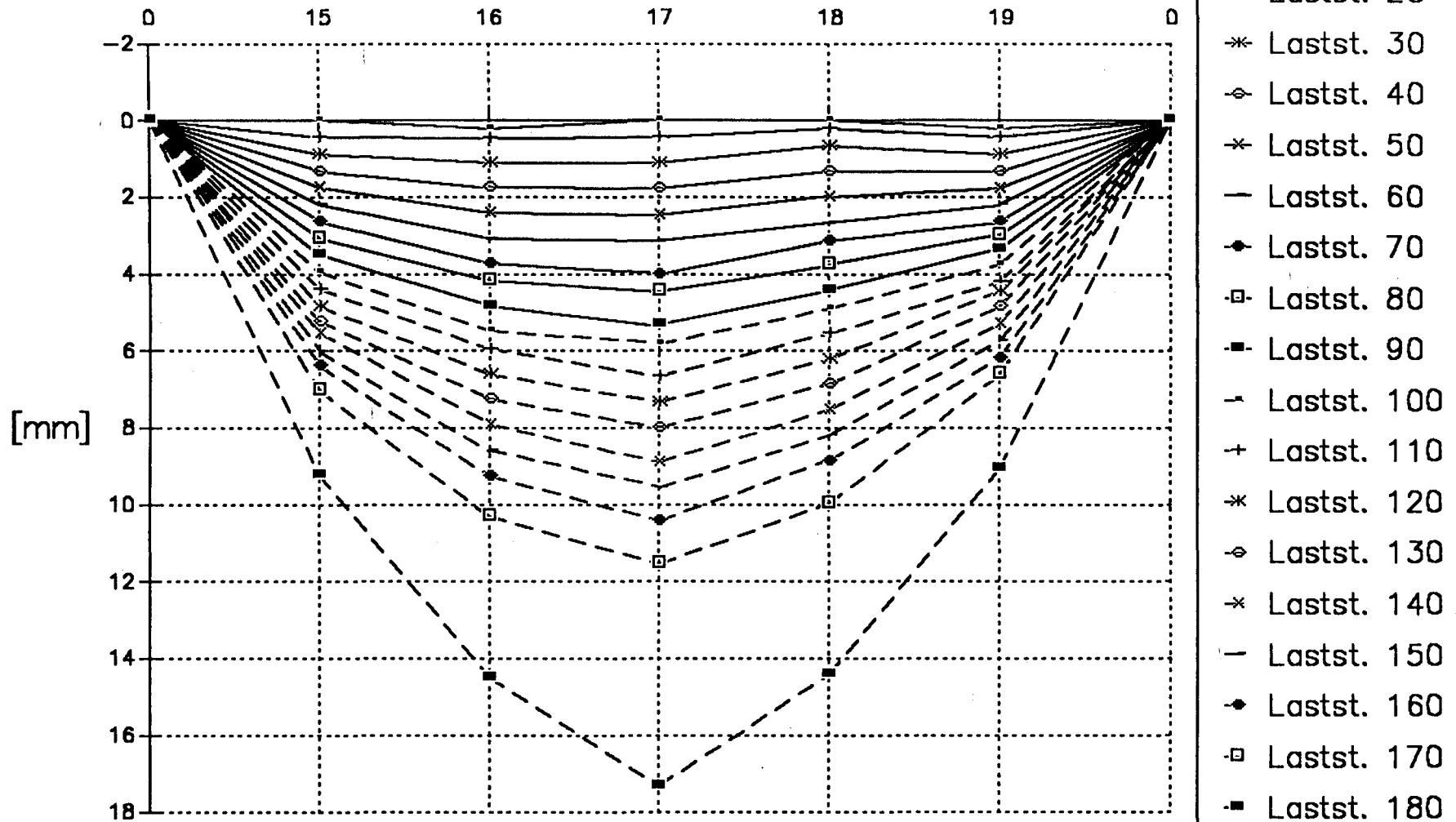


Versuch S2-V3 – Durchbiegungen am Plattenrand Meßstelle

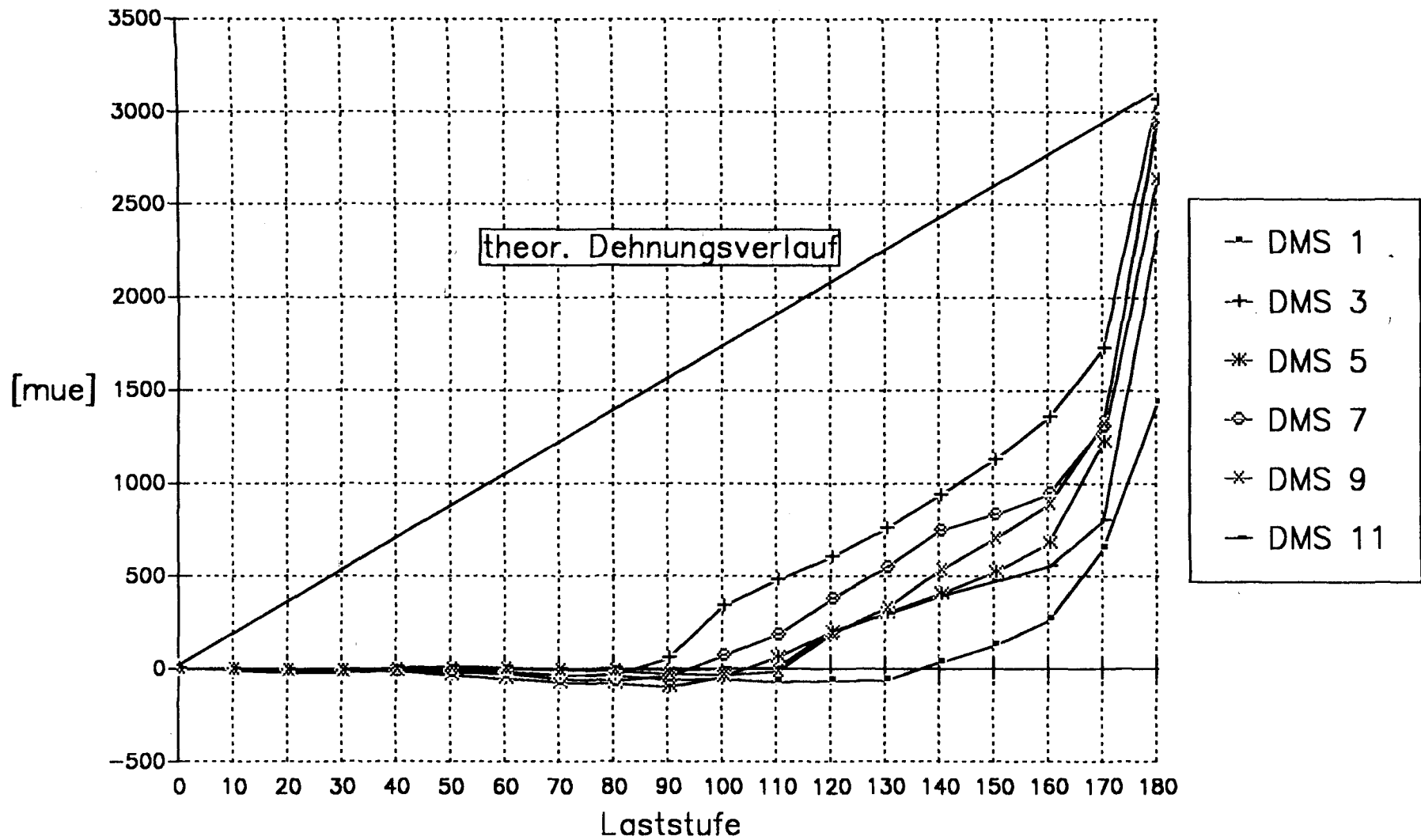


Versuch S2-V3 – Durchbiegungen in Balkenmitte

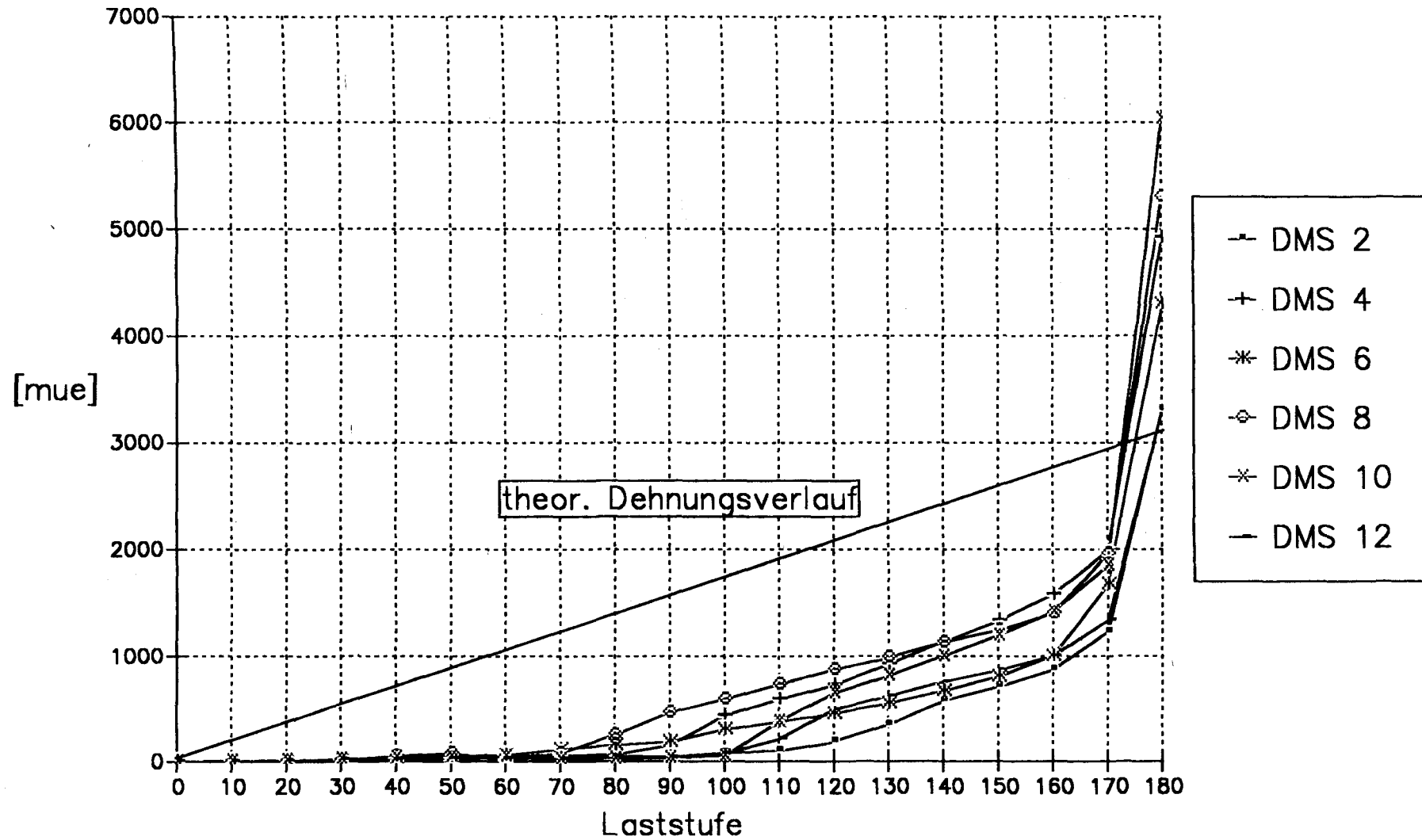
Meßstelle



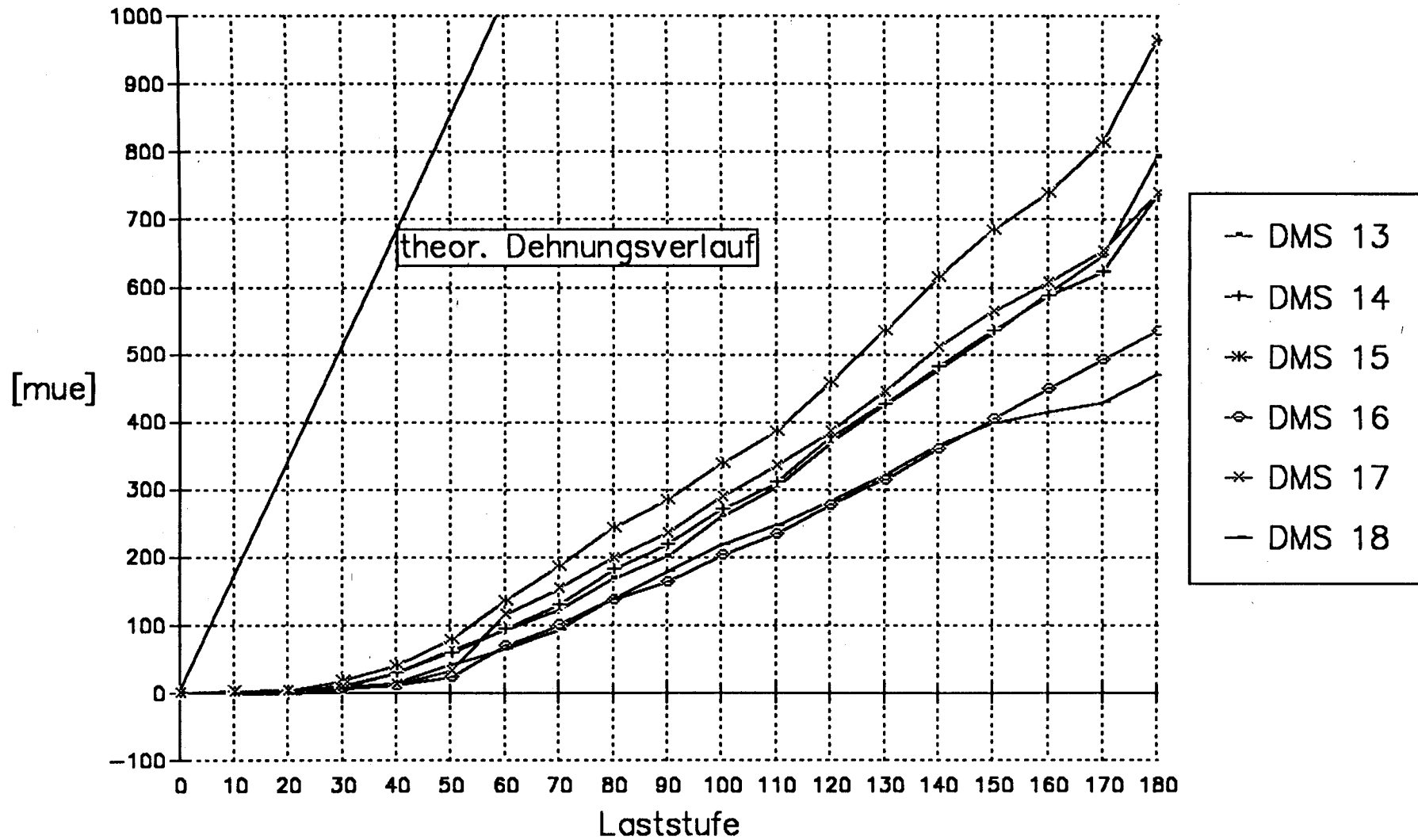
Versuch S2-V3 – DMS der Bügel



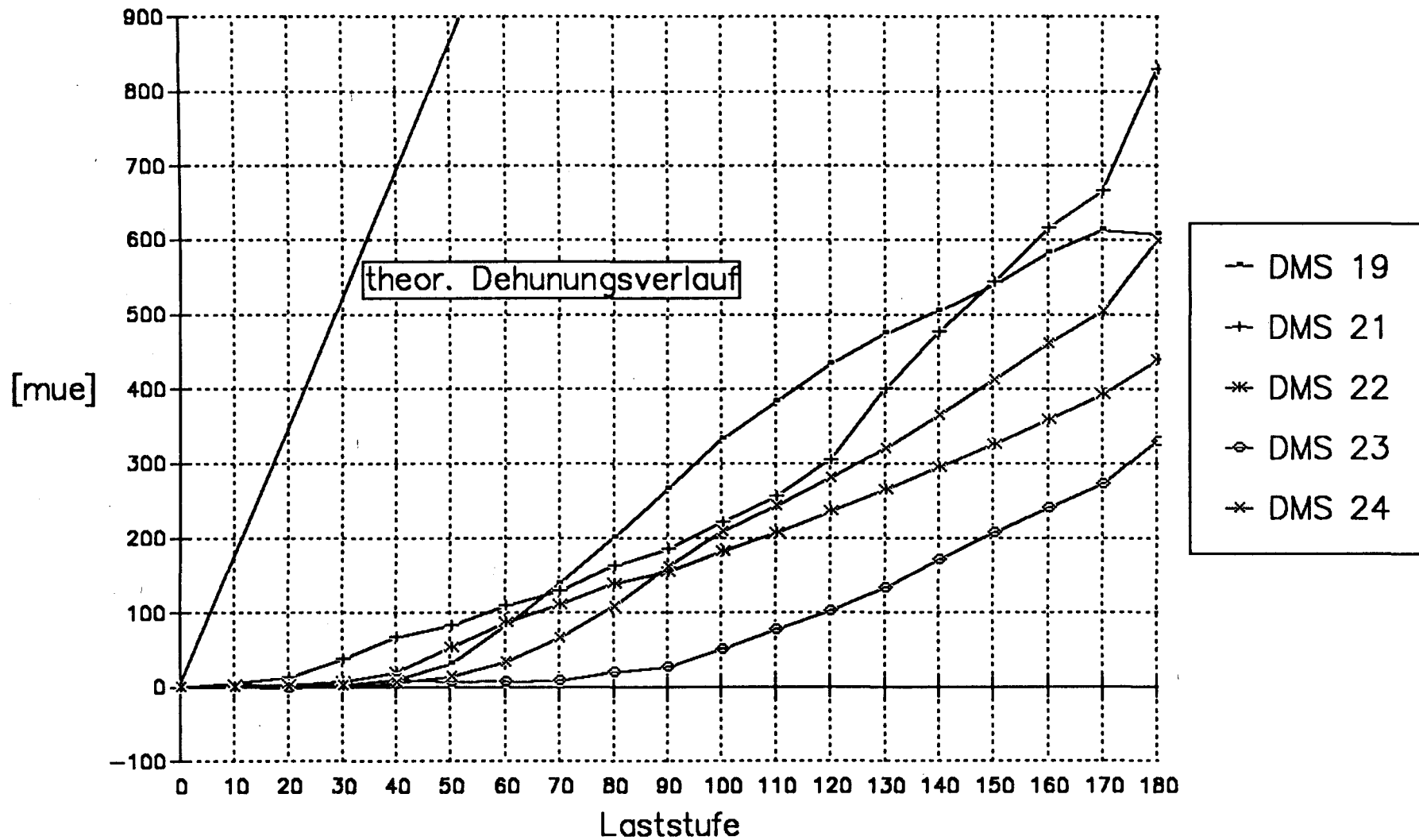
Versuch S2-V3 – DMS der Bügel



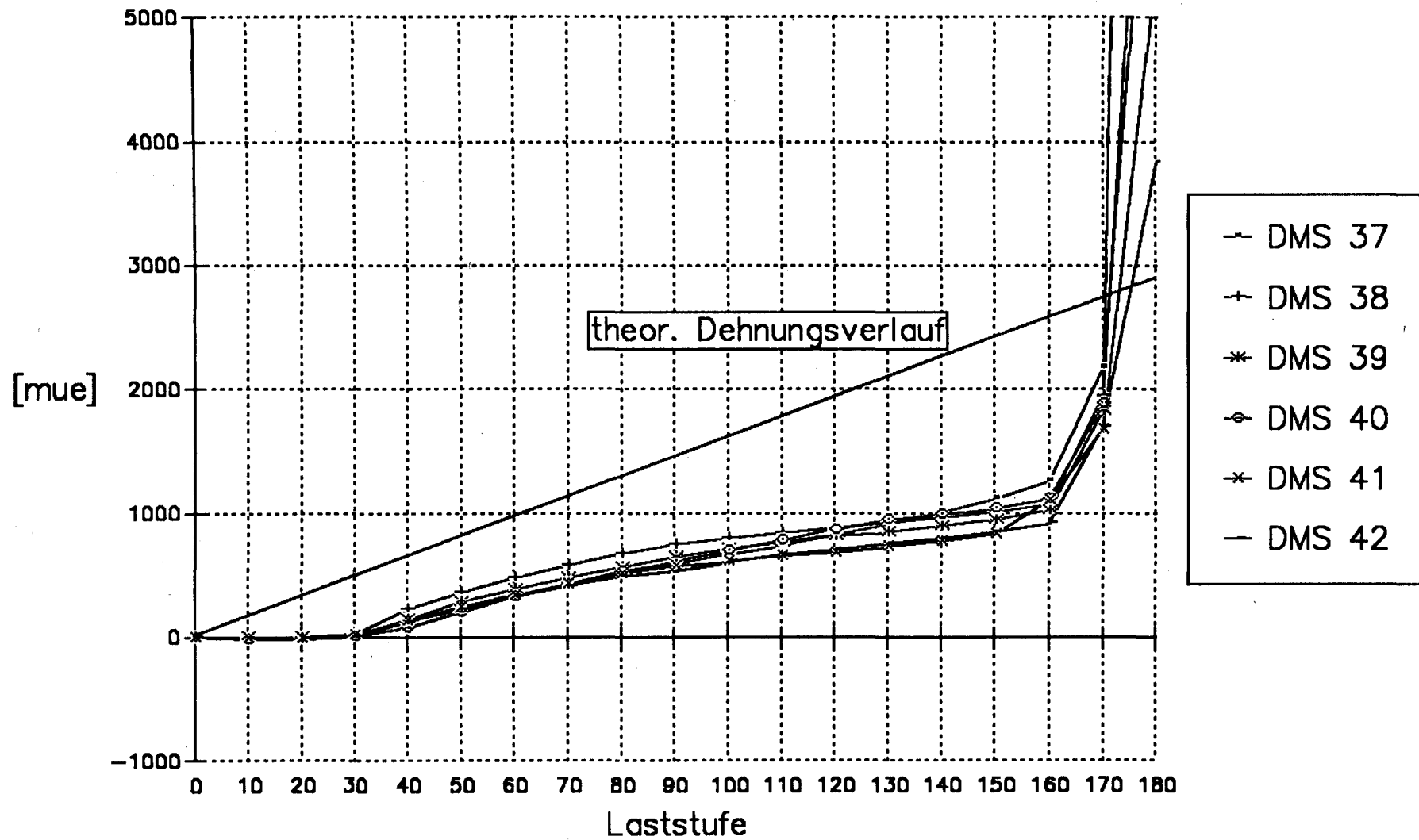
Versuch S2-V3 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



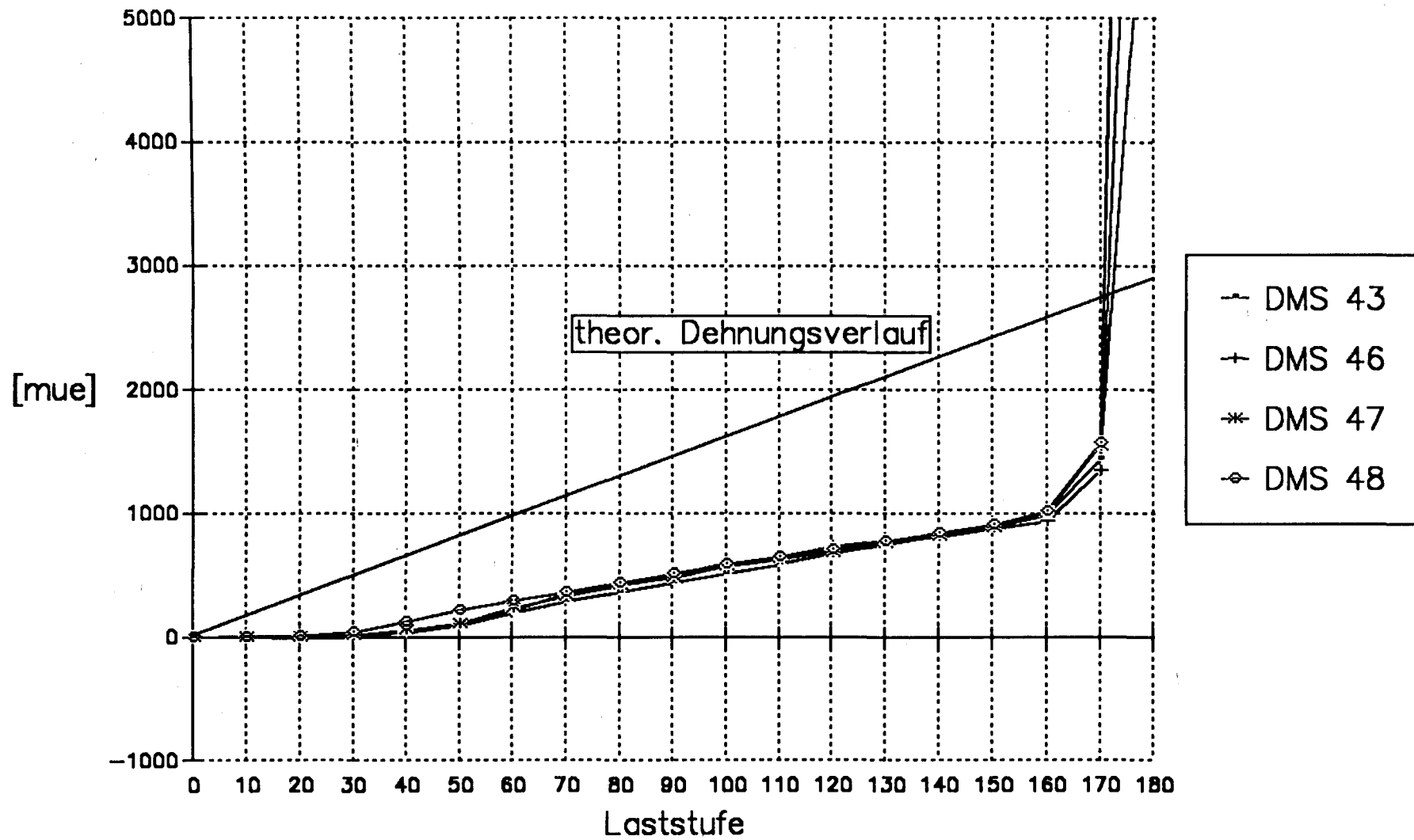
Versuch S2-V3 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



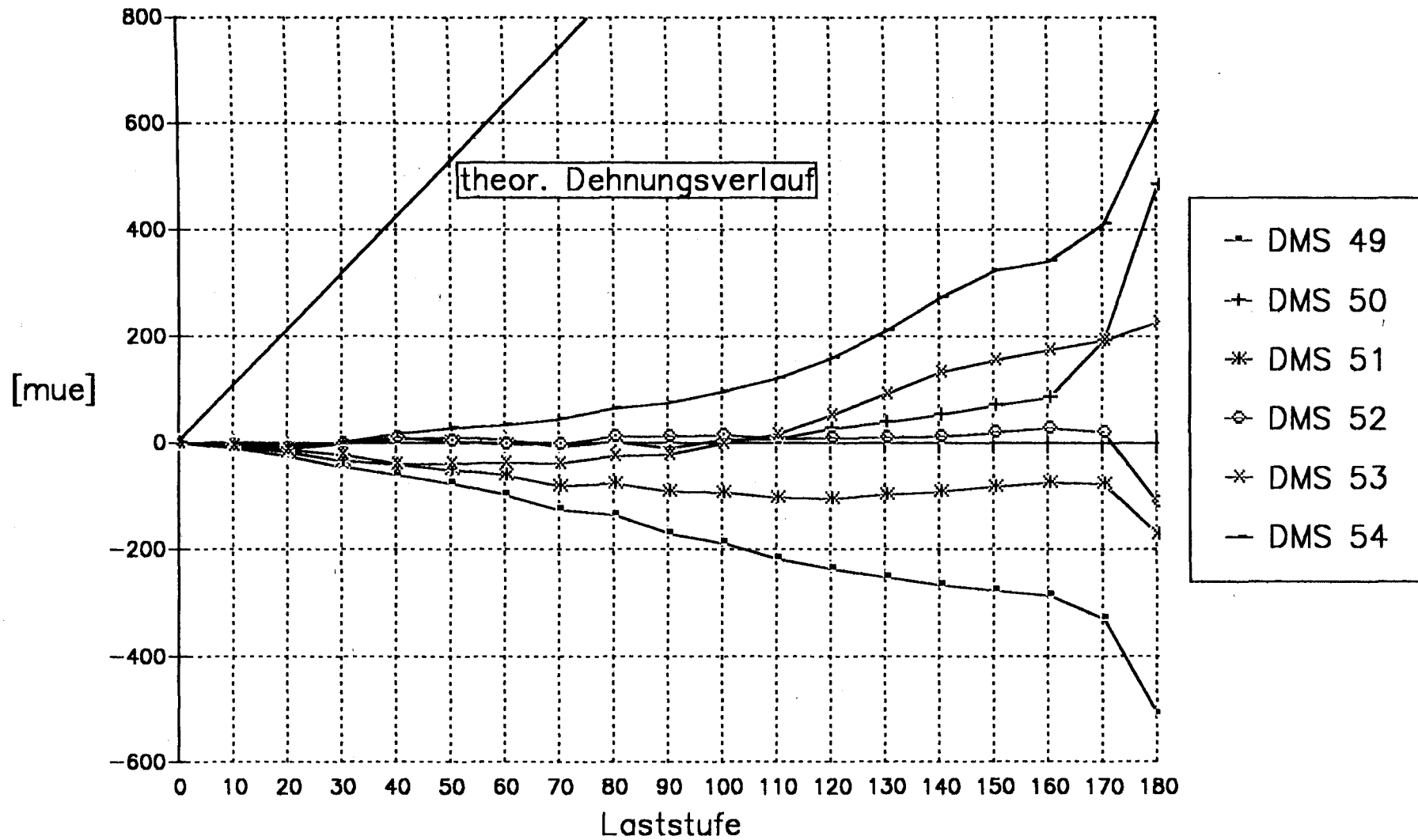
Versuch S2-V3 – DMS der Auflagerzulagen



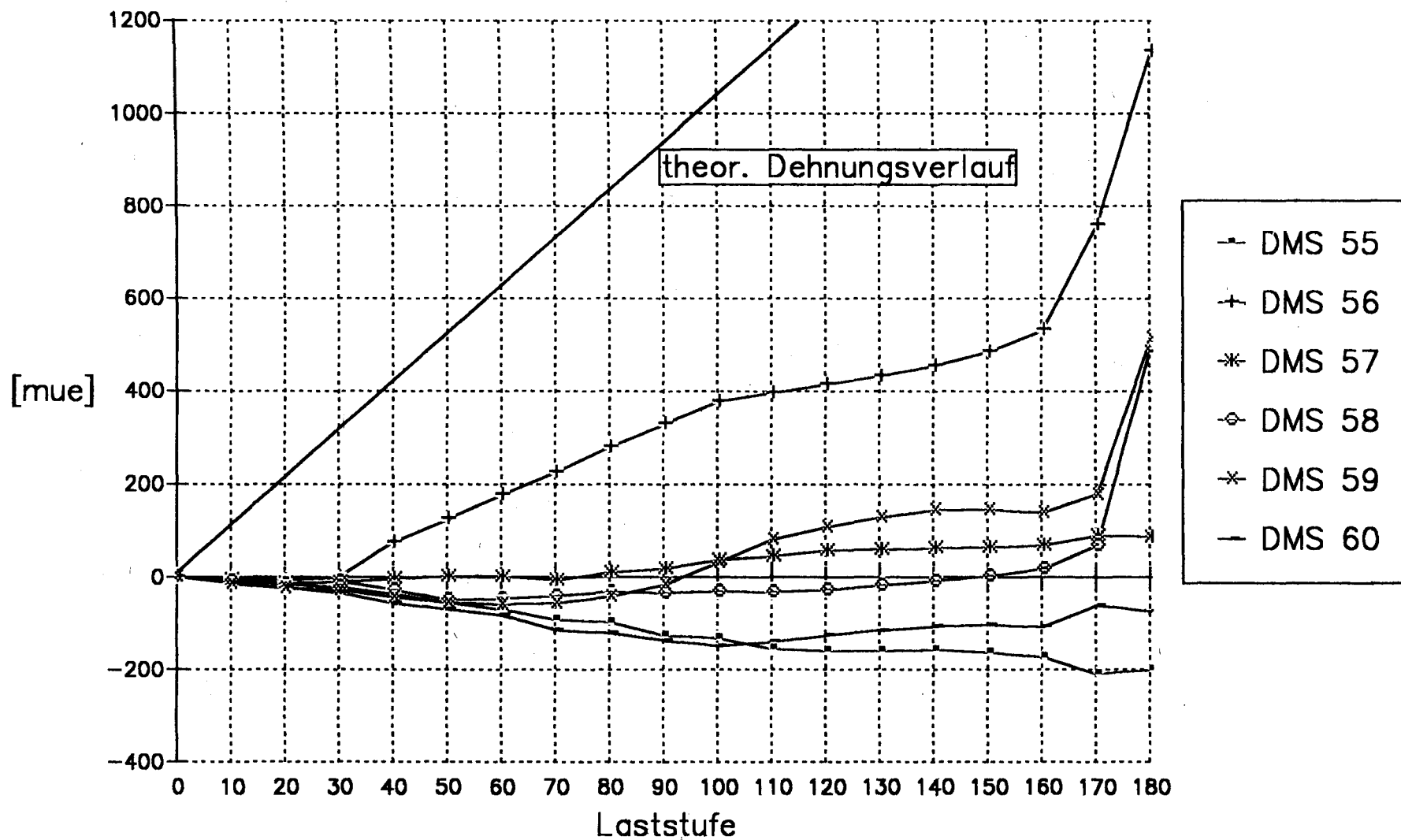
Versuch S2-V3 – DMS der Auflagerzulagen



Versuch S2-V3 – DMS der Aufhängebewehrung

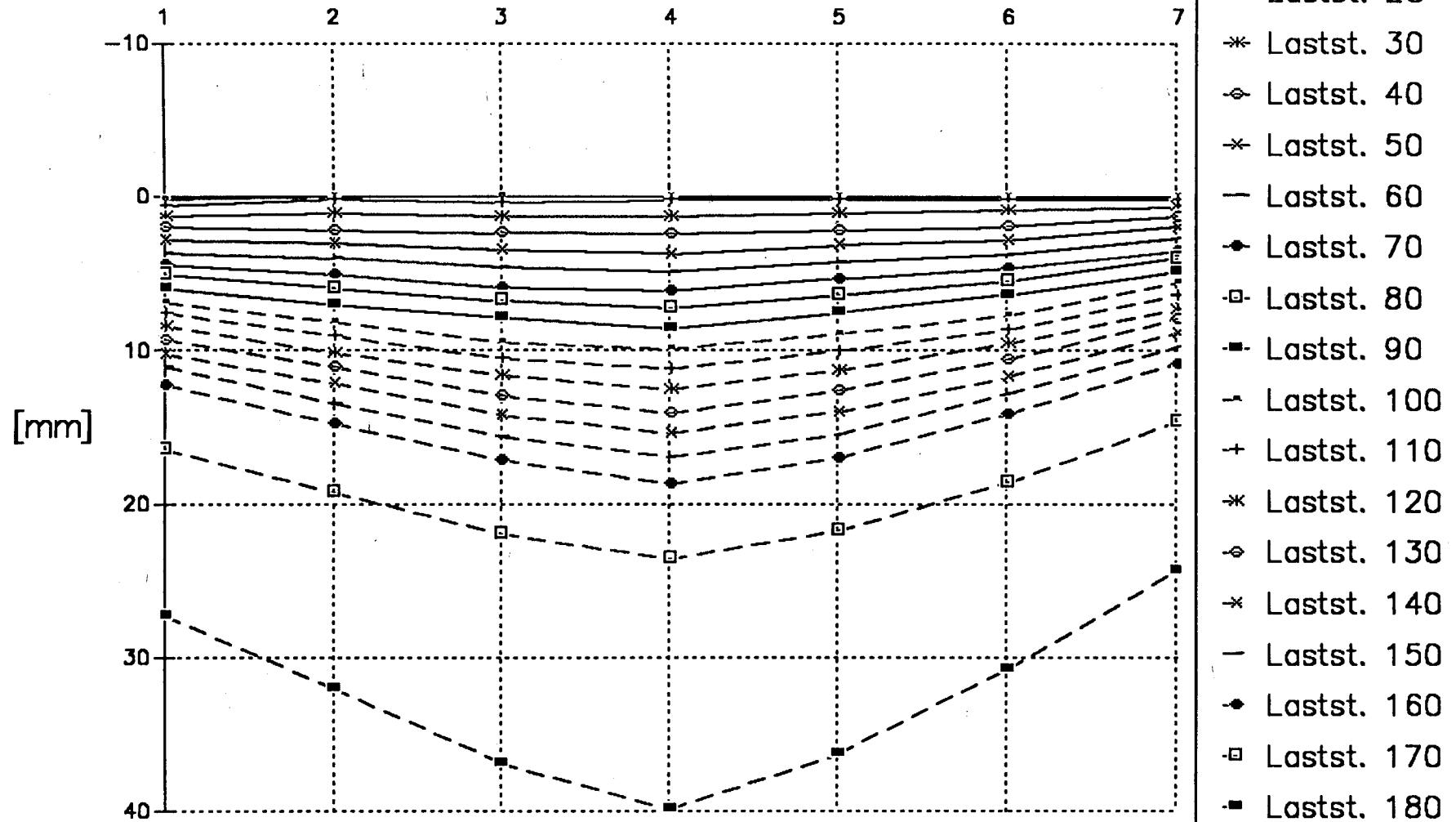


Versuch S2-V3 – DMS der Aufhängebewehrung

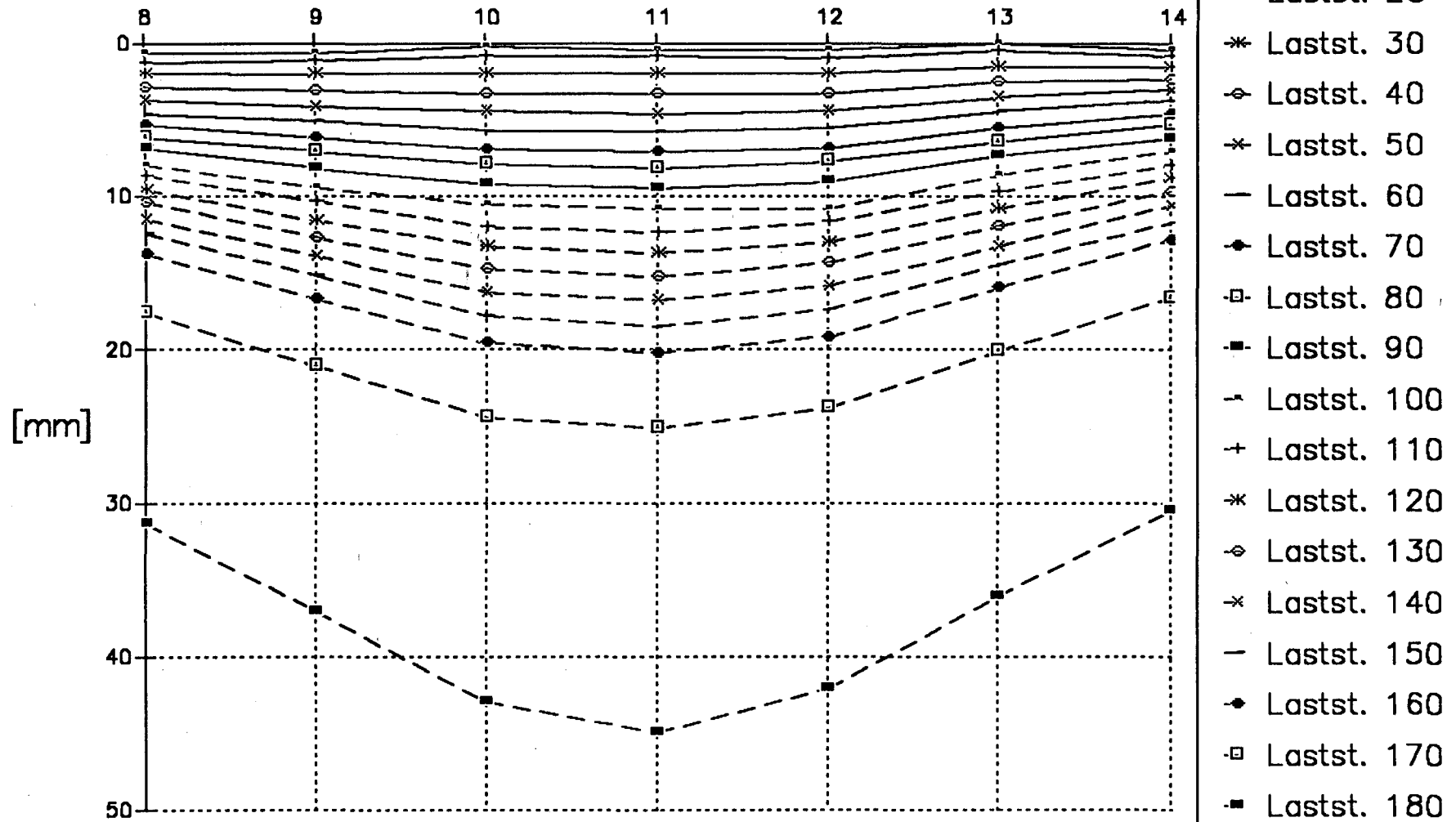


Versuch S2 – V4

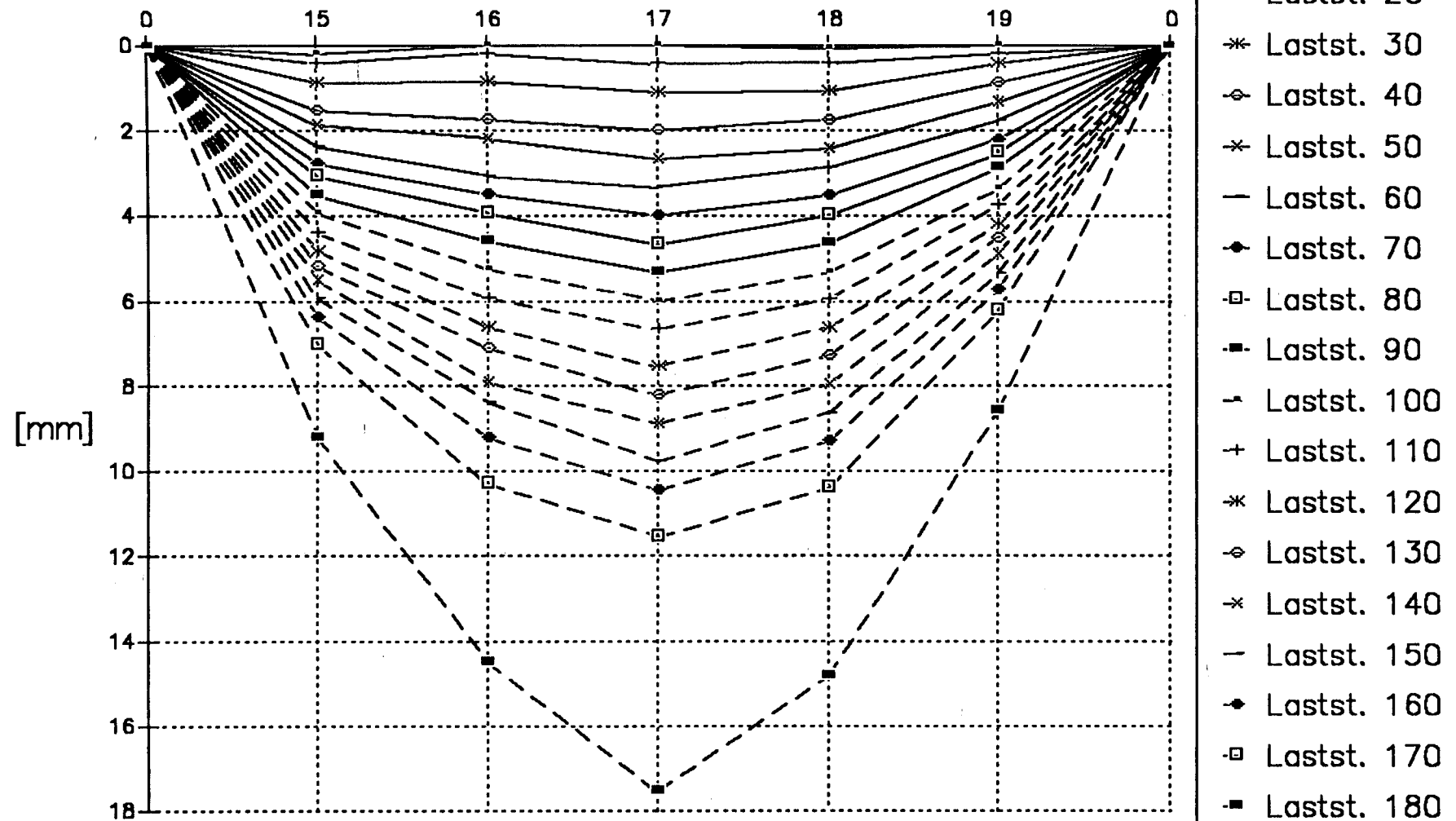
Versuch S2-V4 – Durchbiegung des Plattenrandes Meßstelle



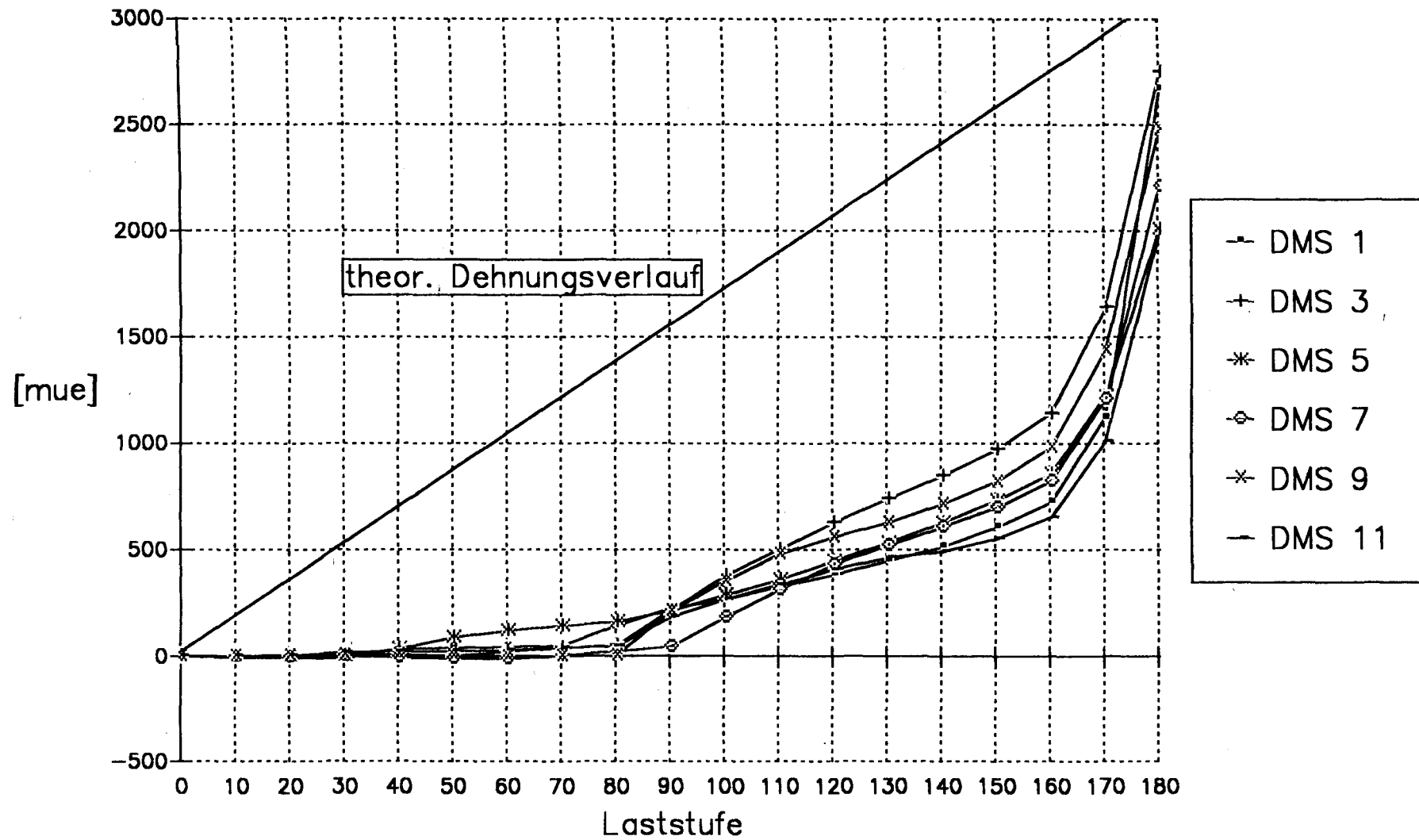
Versuch S2-V4 – Durchbiegung am Plattenrand
Meßstelle



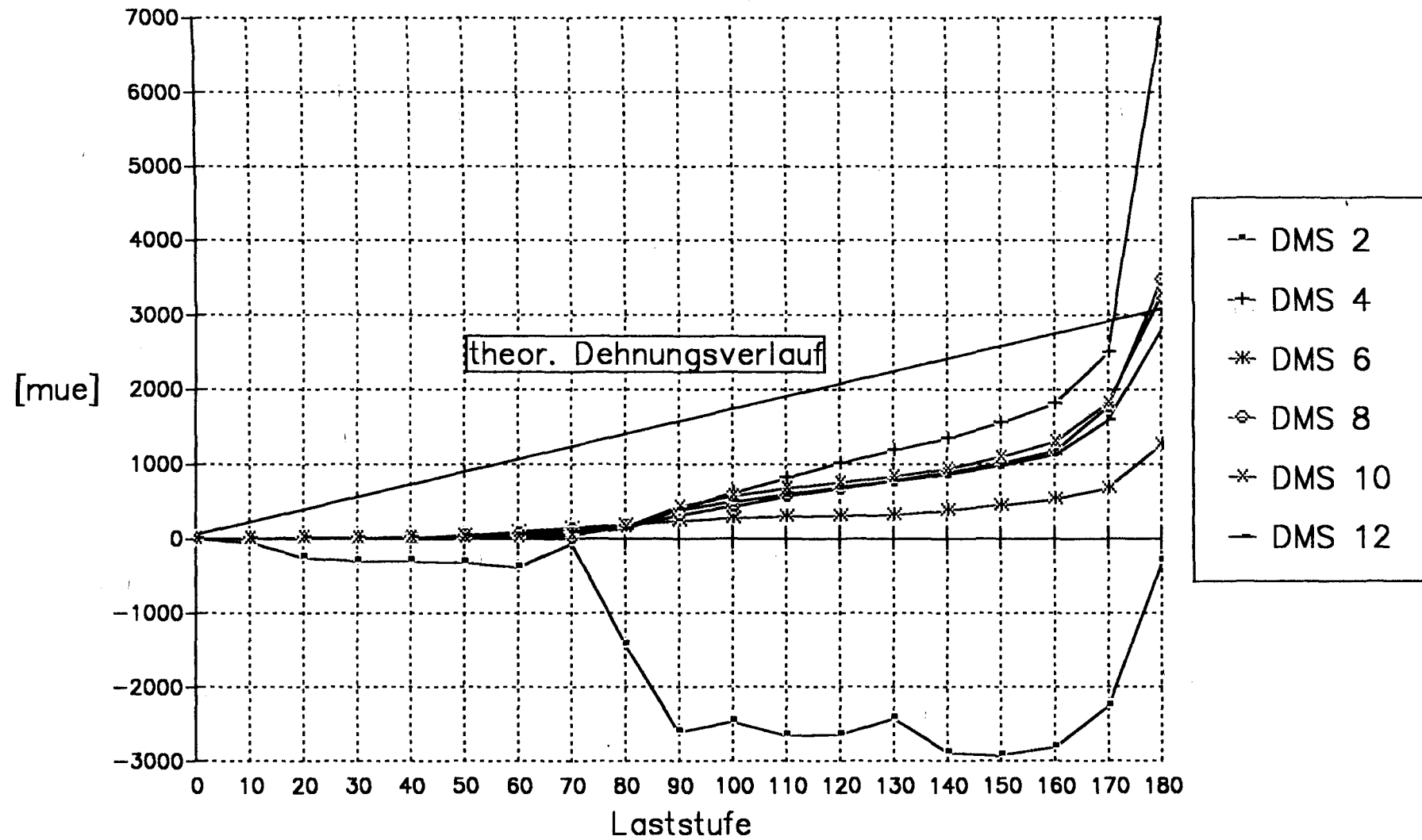
Versuch S2-V4 – Durchbiegungen in Balkenmitte Meßstelle



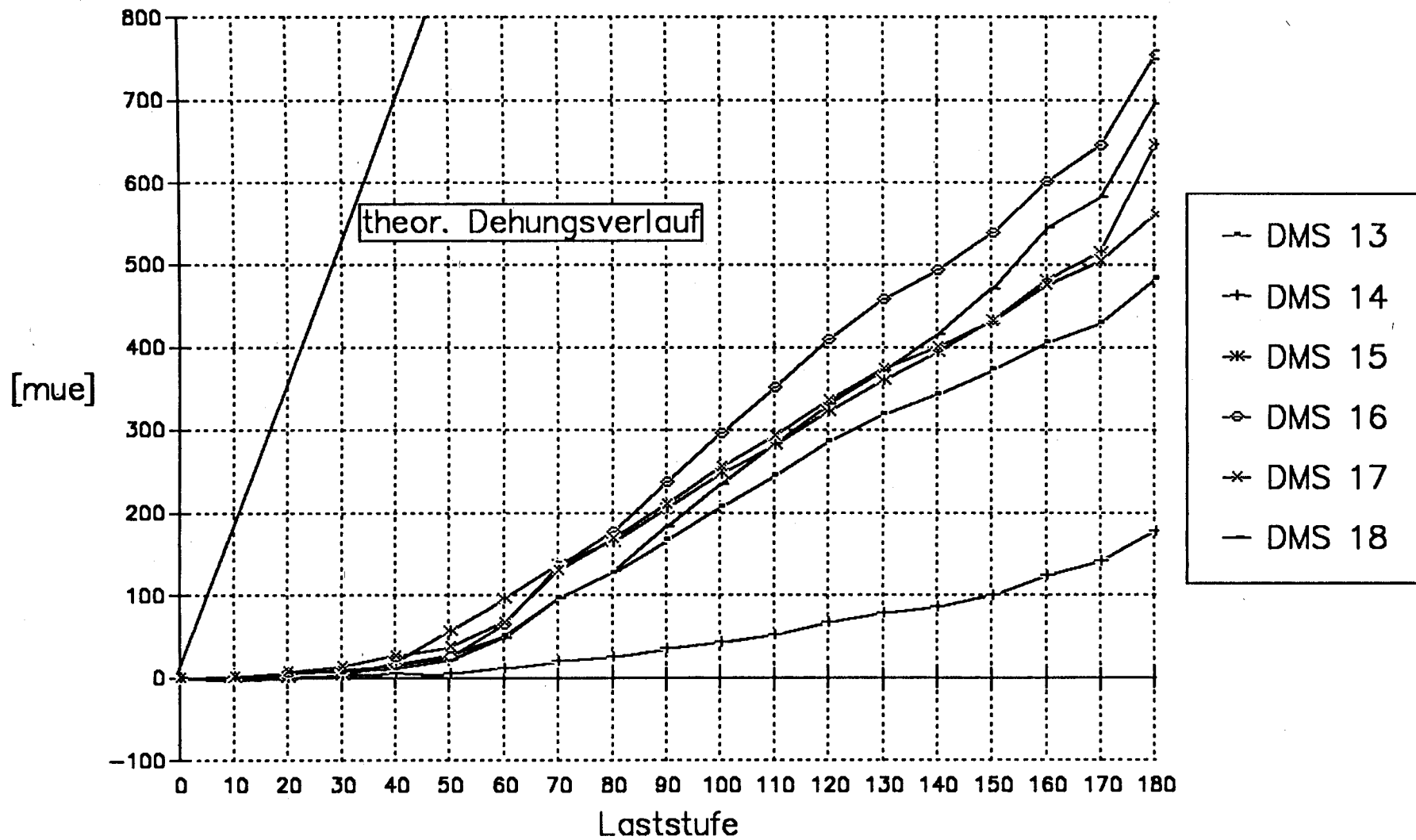
Versuch S2-V4 – DMS der Bügel



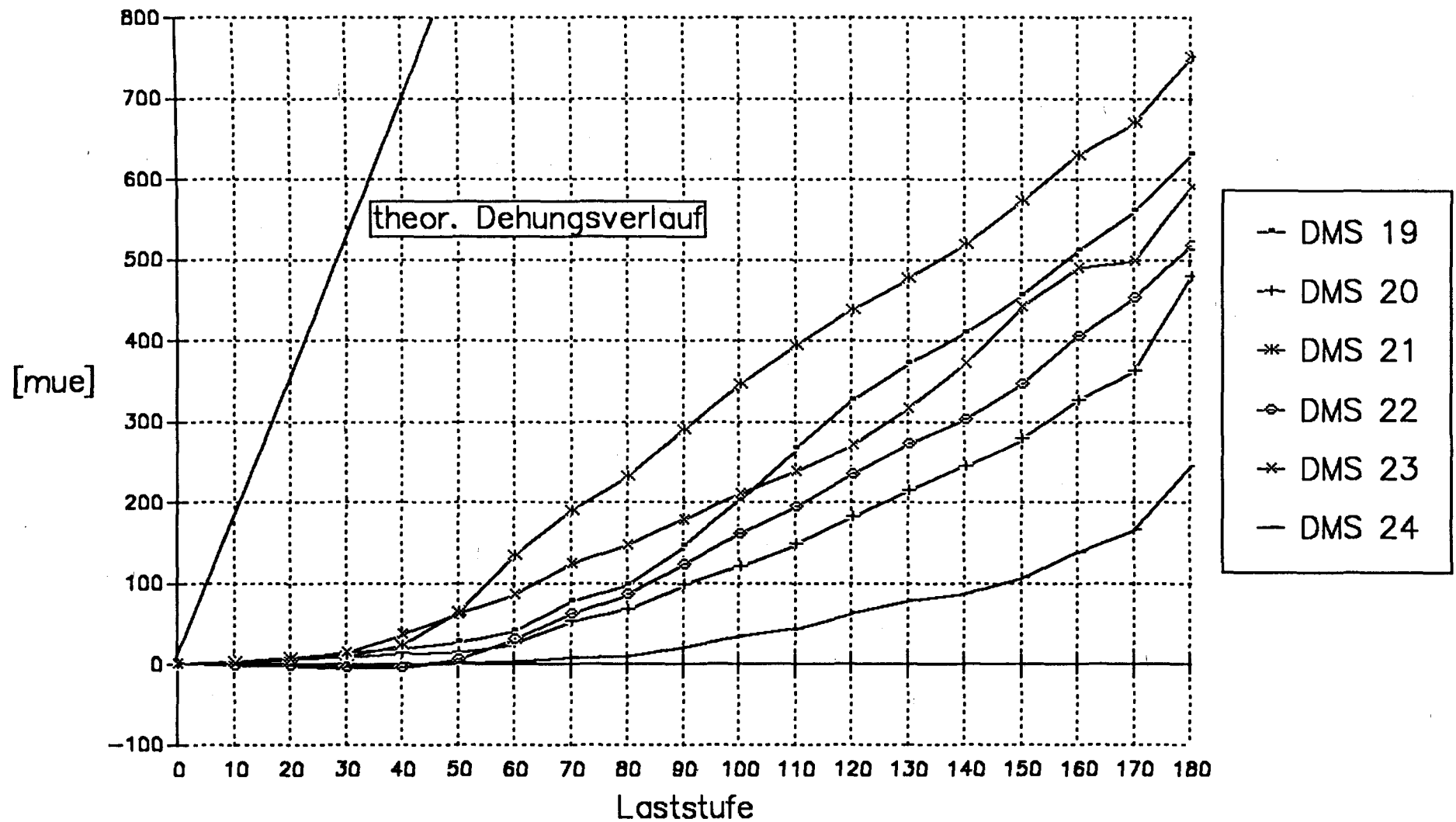
Versuch S2-V4 – DMS der Bügel



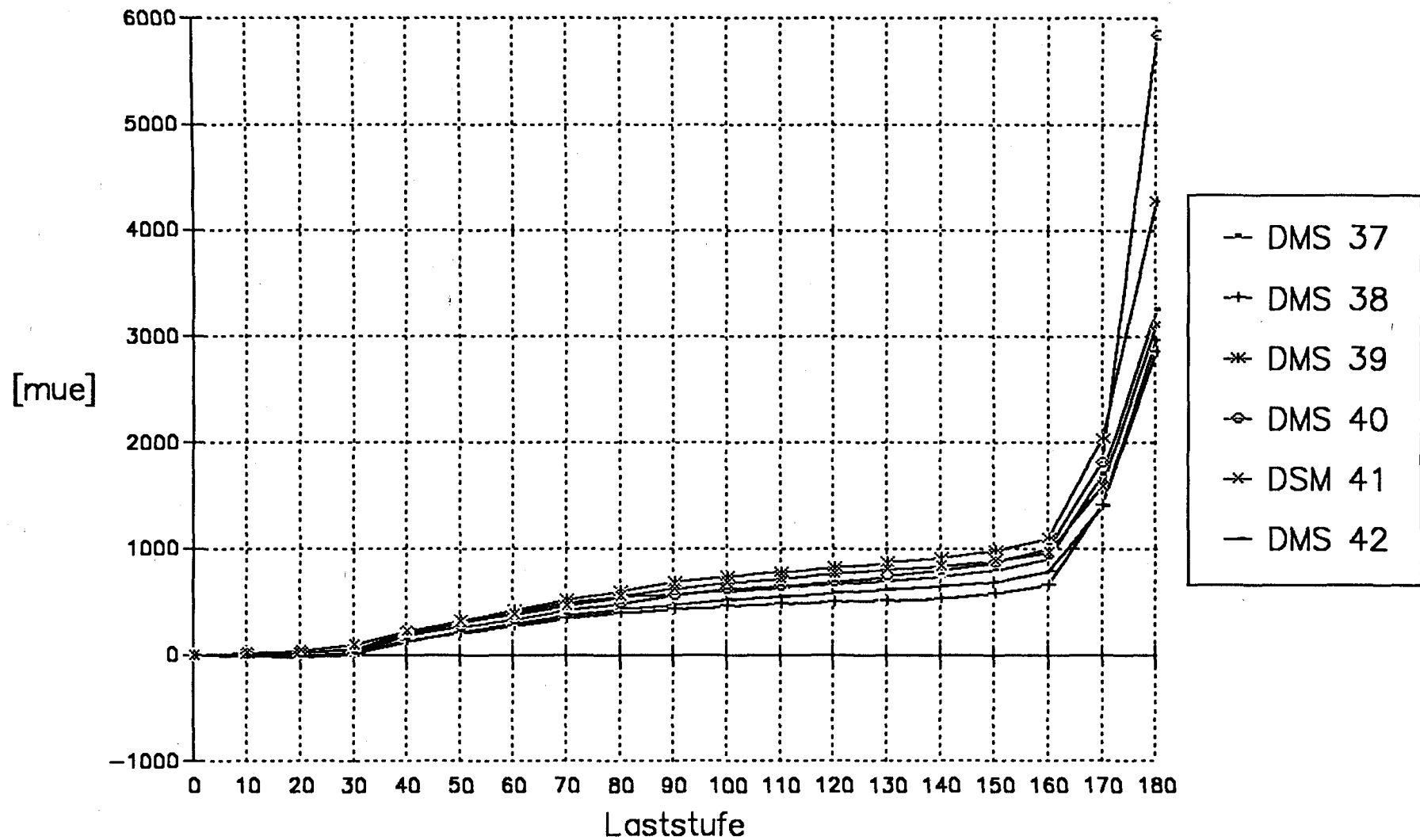
Versuch S2-V4 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



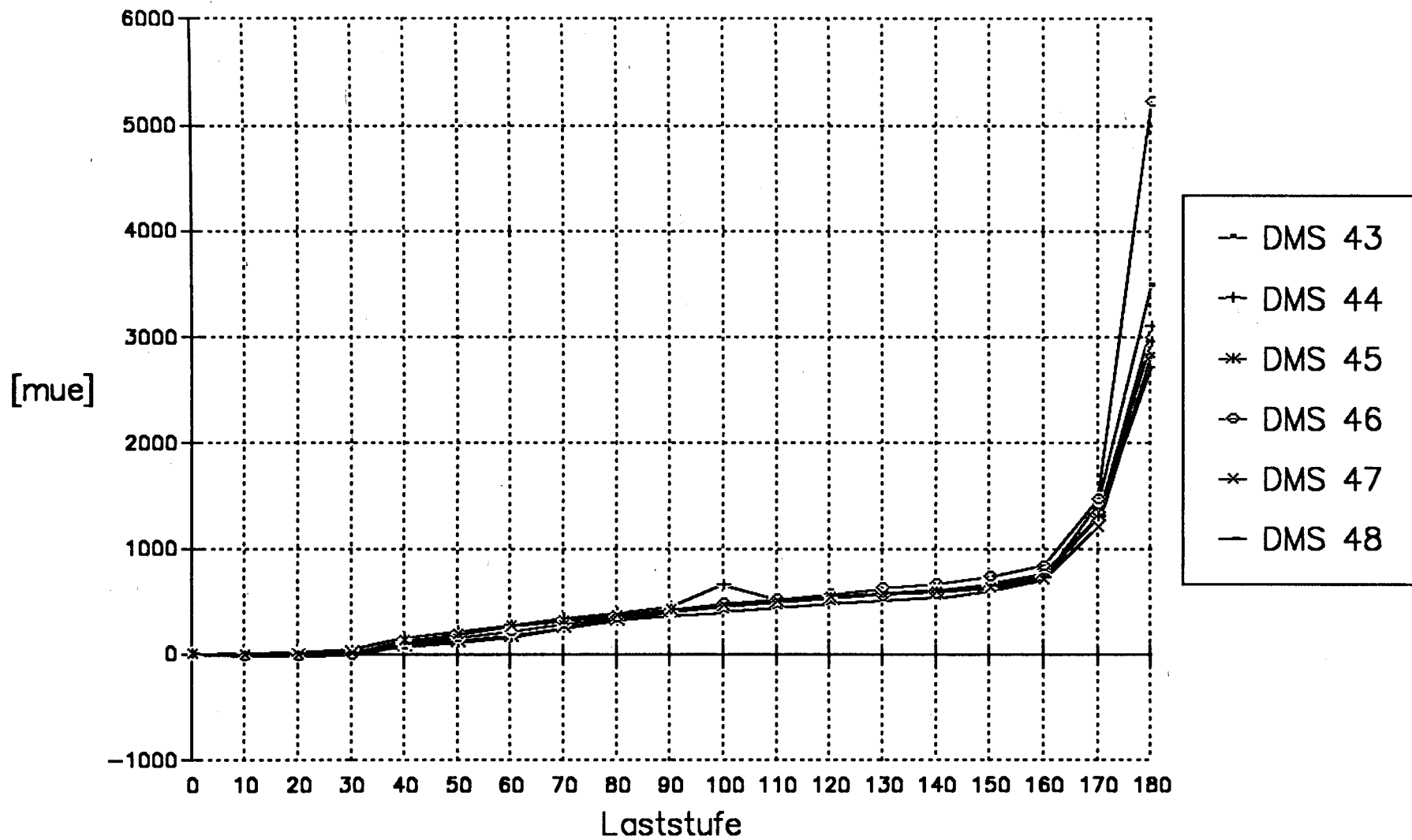
Versuch S2-V4 – DMS der Gitterträgerdiagonalen .



Versuch S2-V4 – DMS der Auflagerzulagen

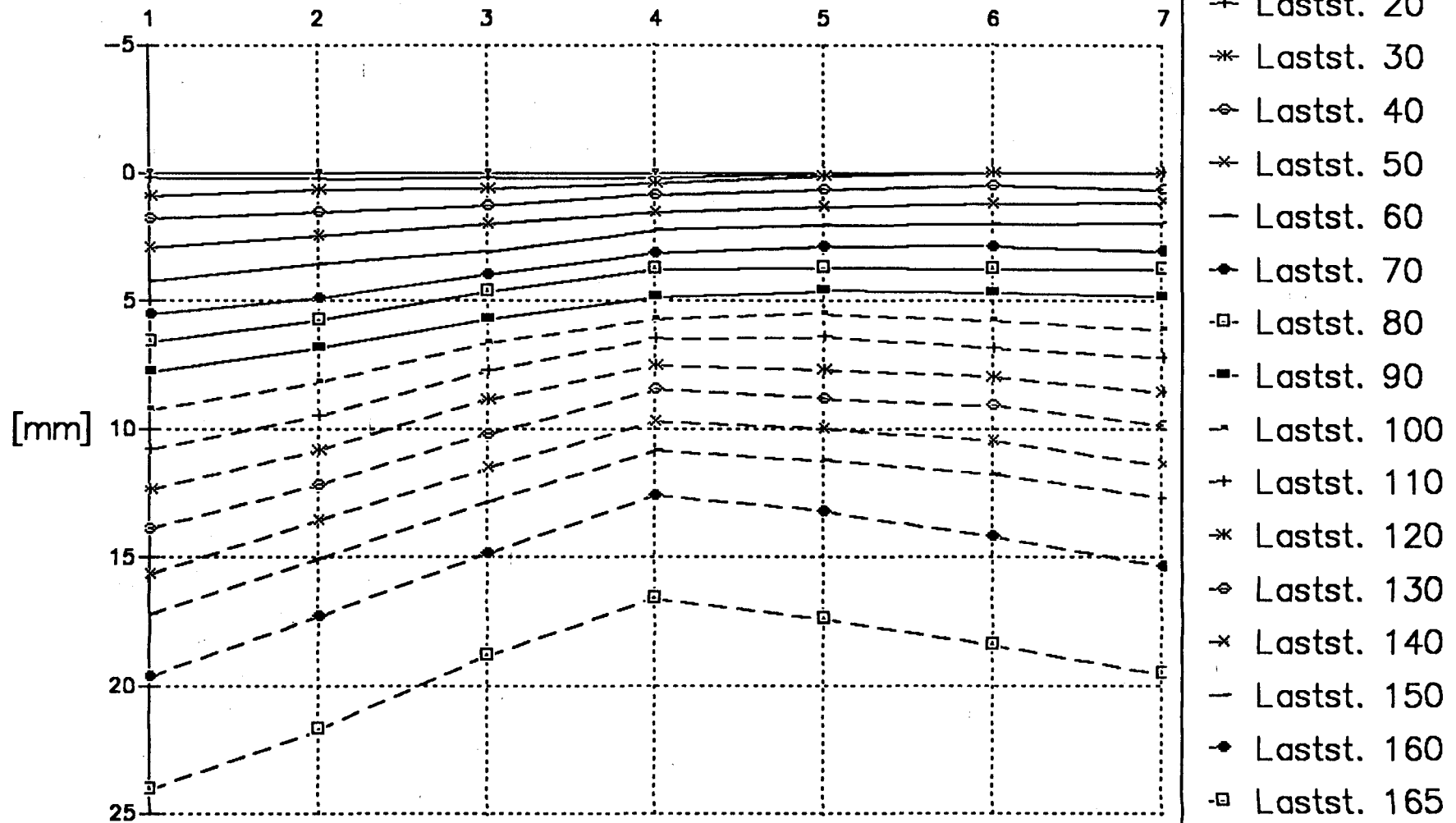


Versuch S2-V4 – DMS der Auflagerzulagen

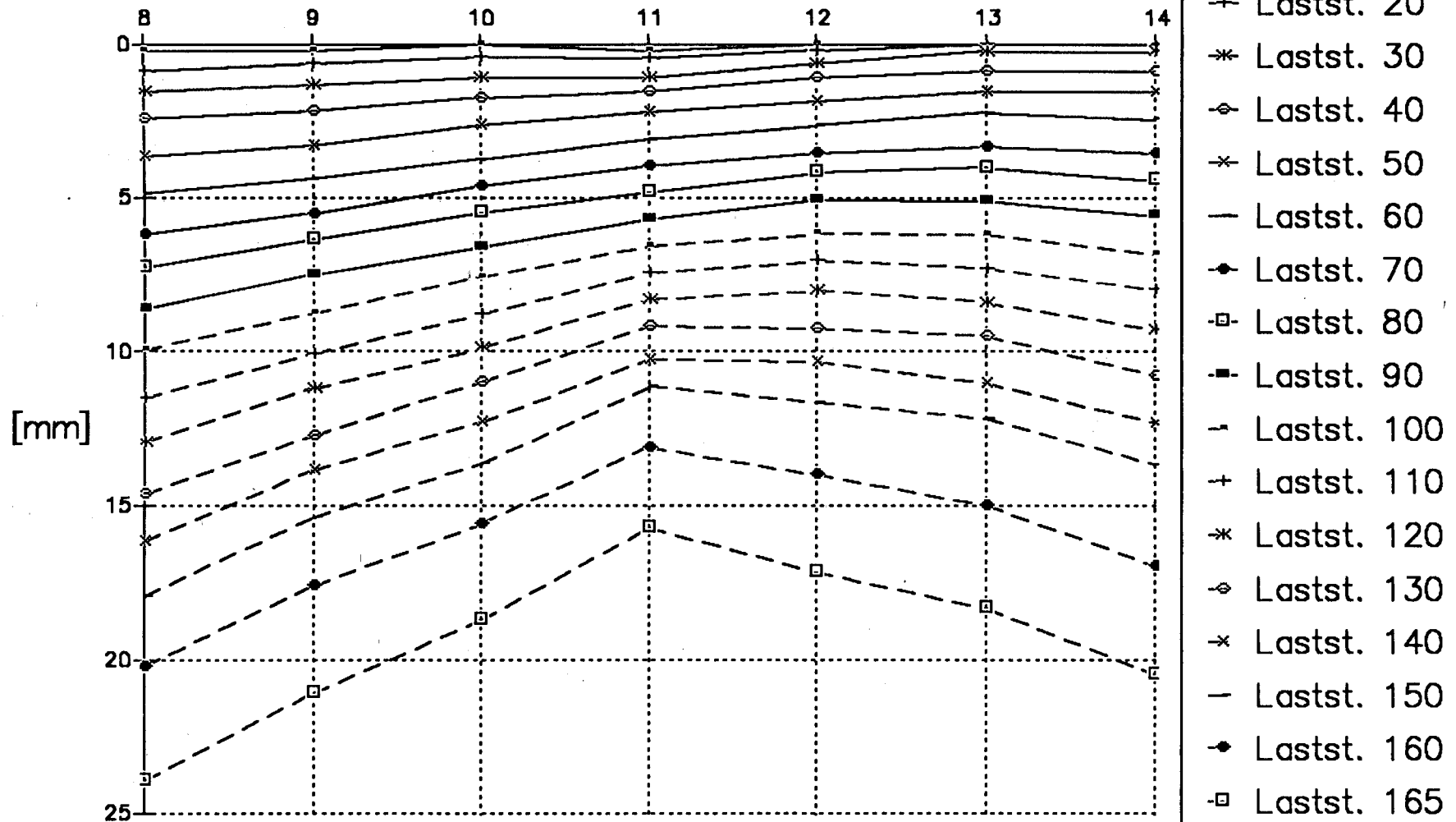


Versuch S3 – V1

Versuch S3-V1 – Durchbiegung des Plattenrandes
Meßstelle

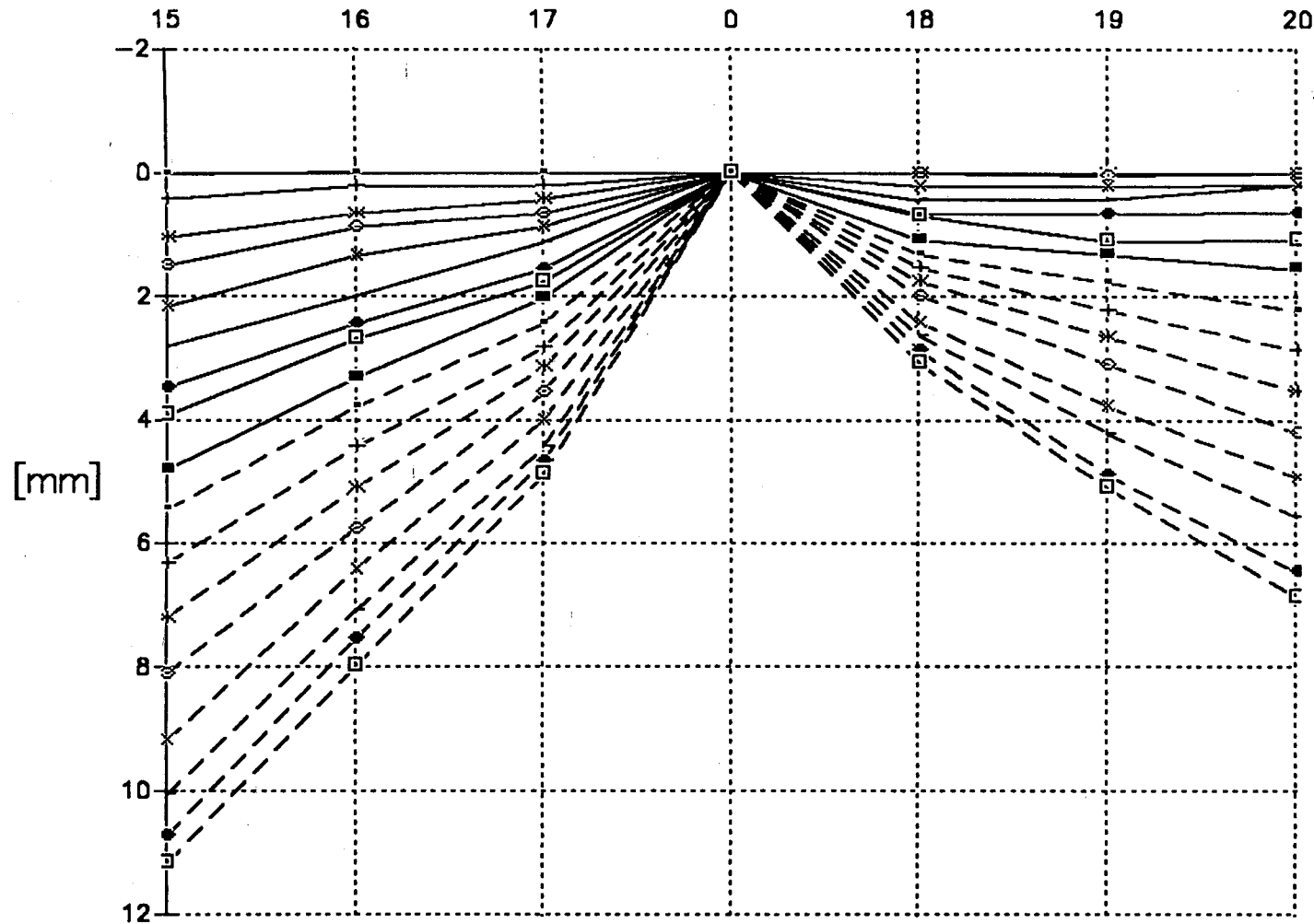


Versuch S3-V1 – Durchbiegung am Plattenrand
Meßstelle



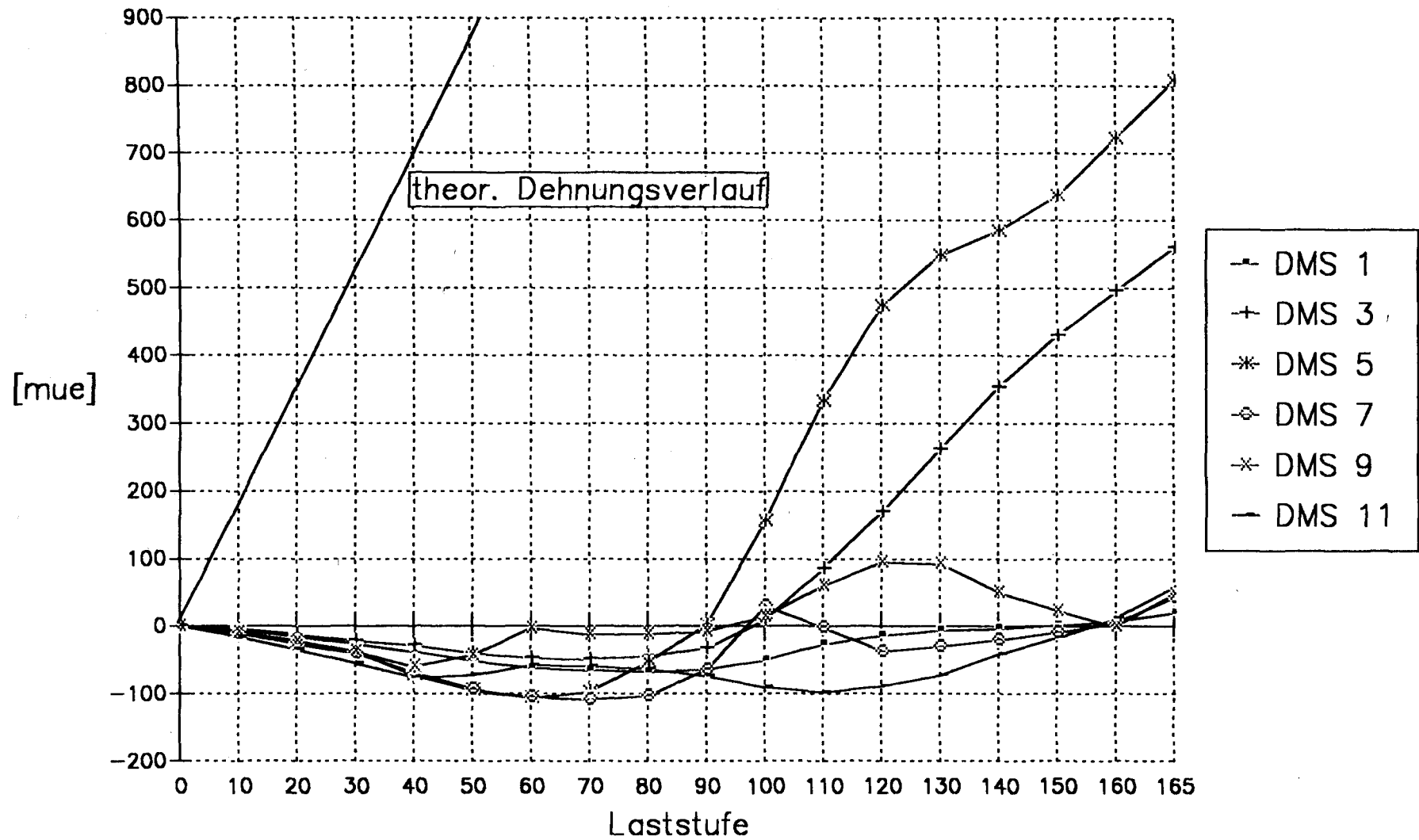
Versuch S3-V1 – Durchbiegungen in Balkenmitte

Meßstelle

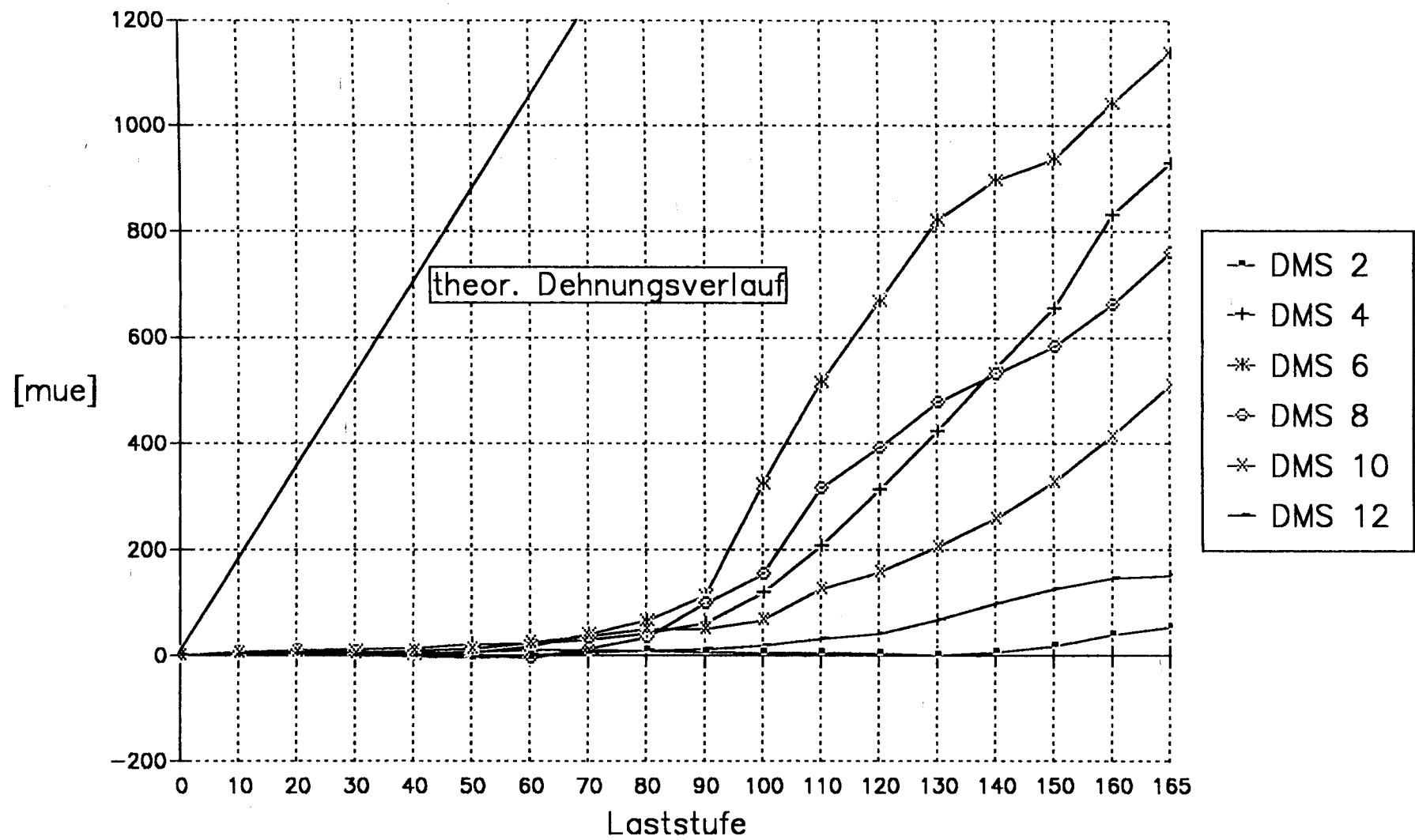


- Lastst. 10
- + Lastst. 20
- * Lastst. 30
- ◇ Lastst. 40
- × Lastst. 50
- Lastst. 60
- ◆ Lastst. 70
- ▢ Lastst. 80
- Lastst. 90
- ⋈ Lastst. 100
- + Lastst. 110
- * Lastst. 120
- ◇ Lastst. 130
- × Lastst. 140
- Lastst. 150
- ◆ Lastst. 160
- ▢ Lastst. 165

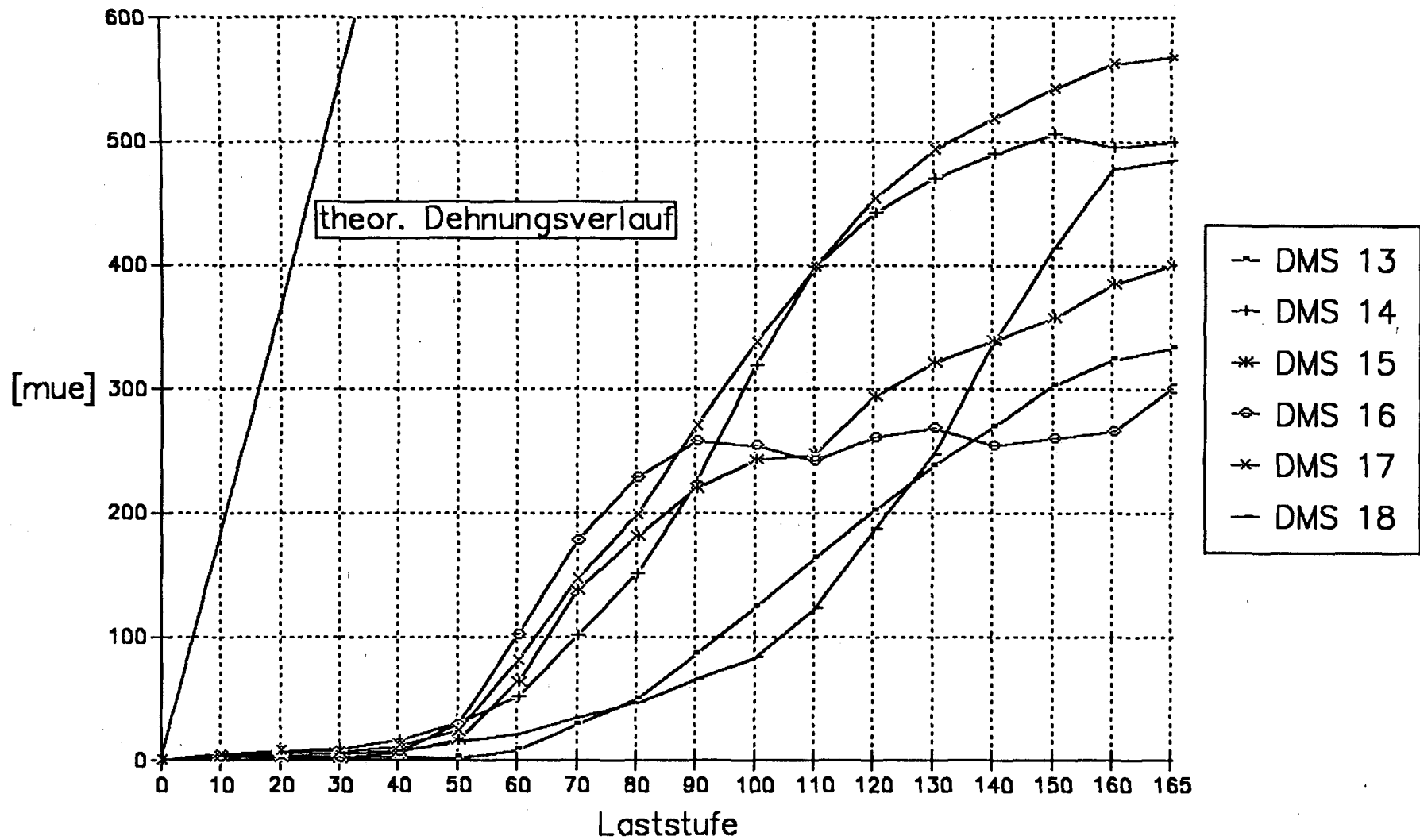
Versuch S3-V1 – DMS der Bügel



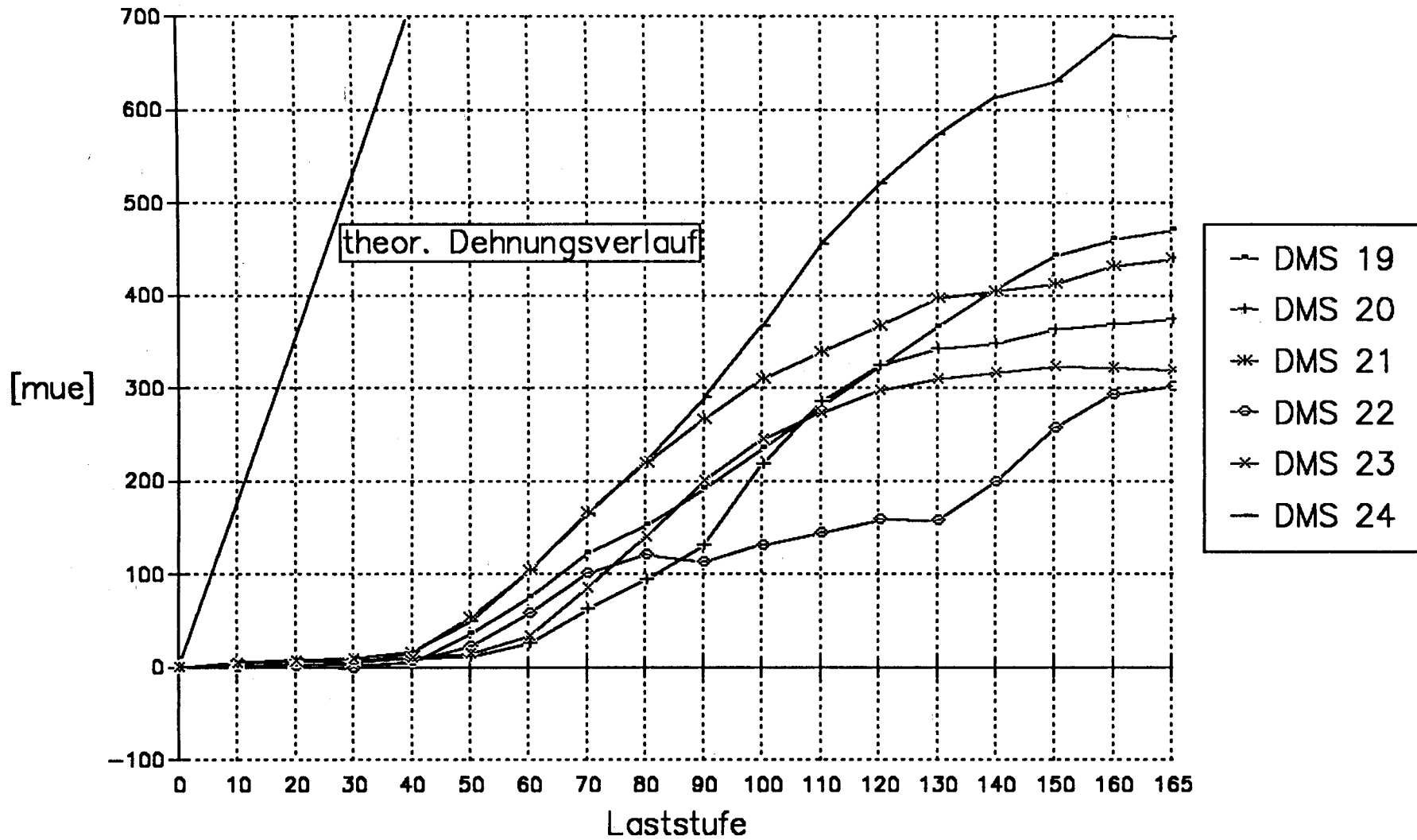
Versuch S3-V1 – DMS der Bügel



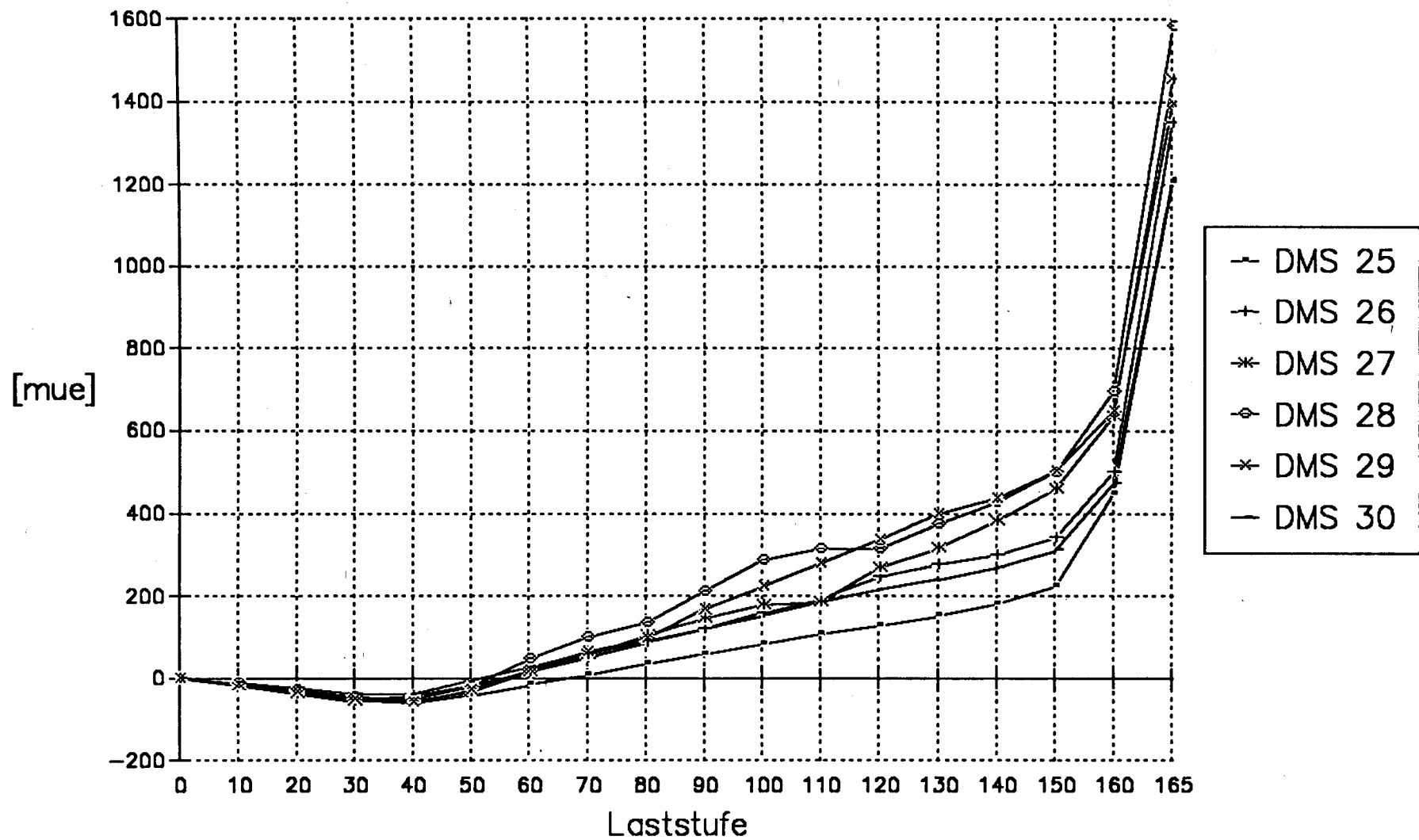
Versuch S3-V1 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



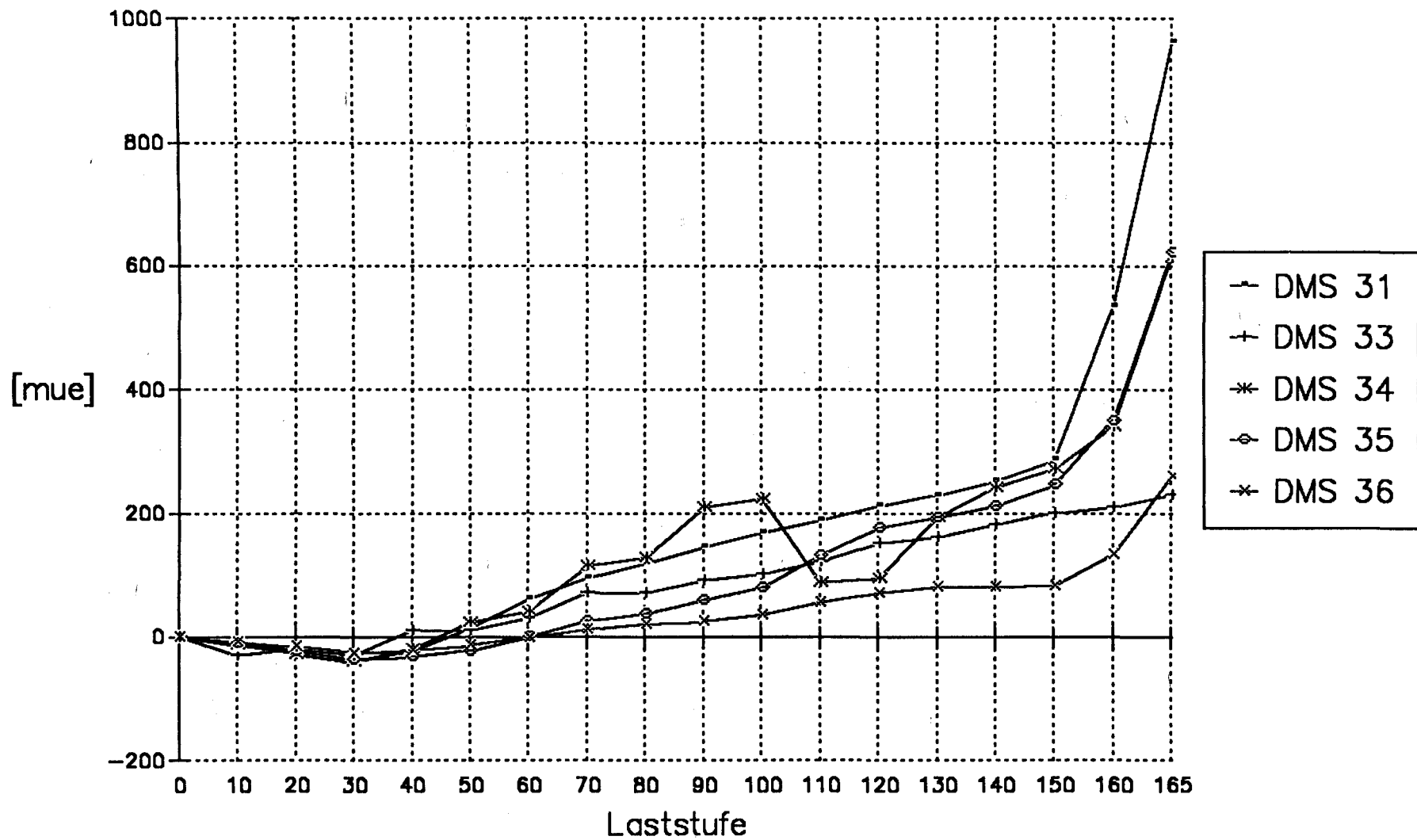
Versuch S3-V1 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



Versuch S3-V1 – DMS der Endverankerungen

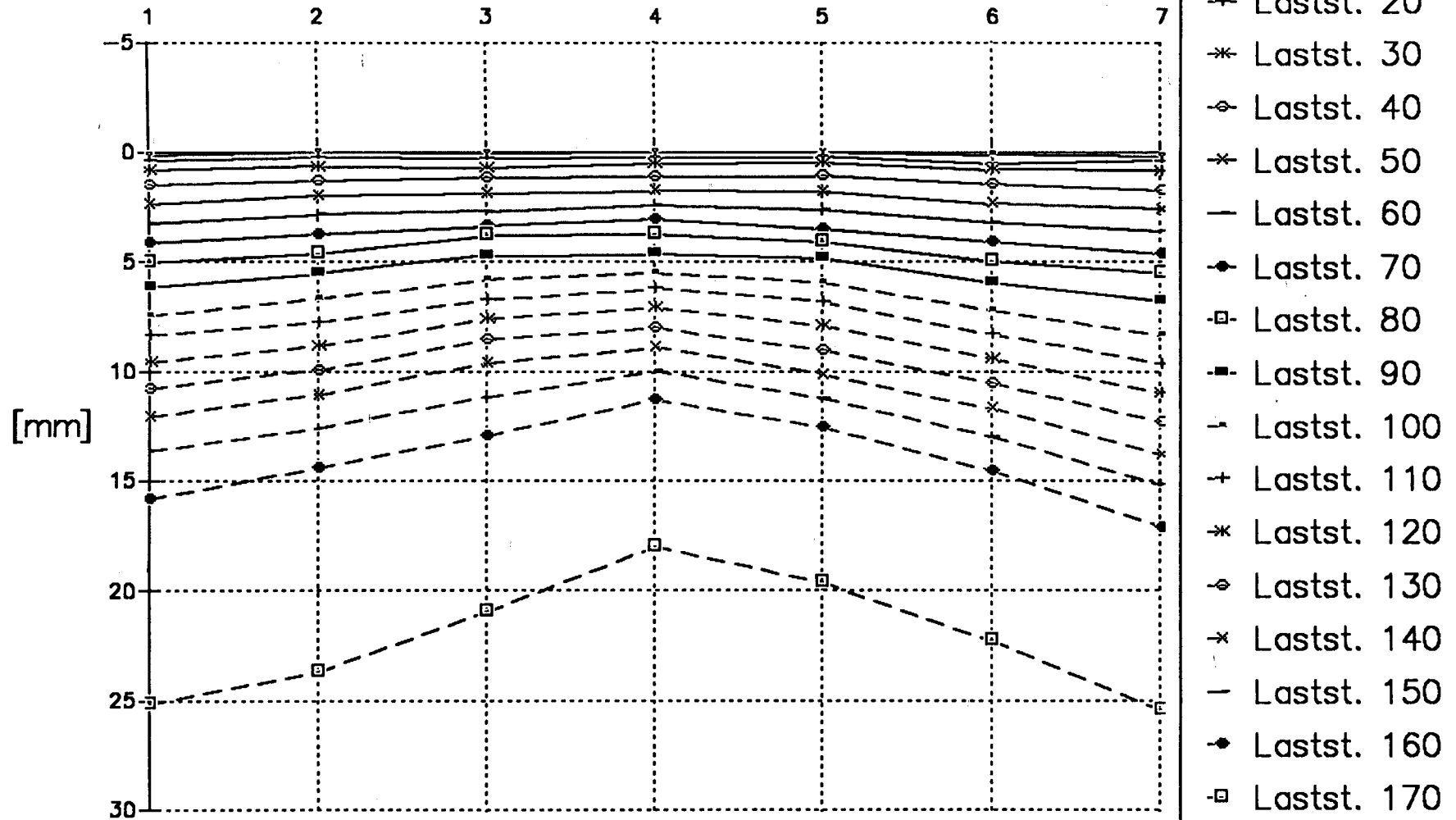


Versuch S3-V1 – DMS der Endverankerungen



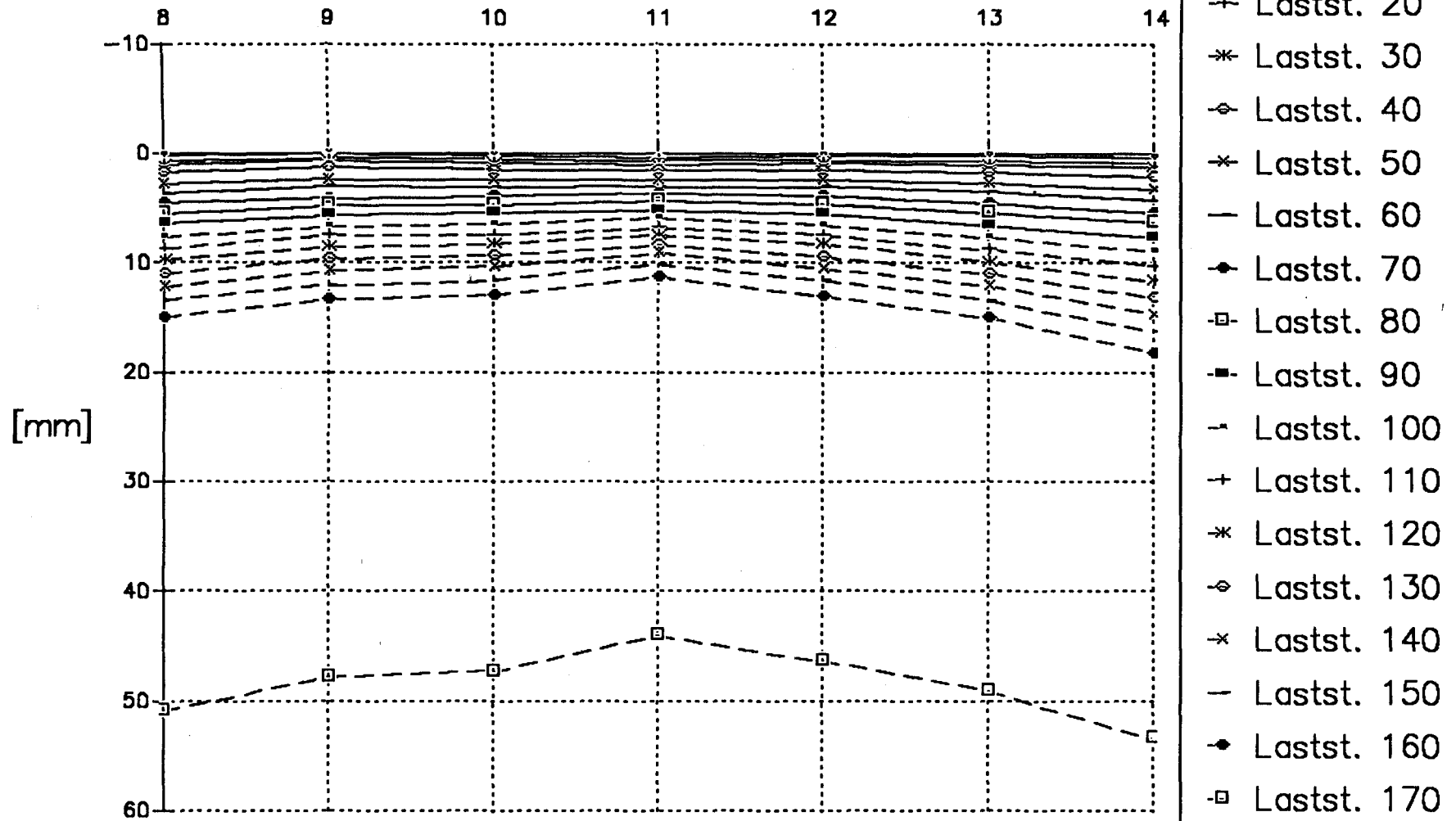
Versuch S3 – V2

S3-V2 – Durchbiegung des Plattenrandes Meßstelle



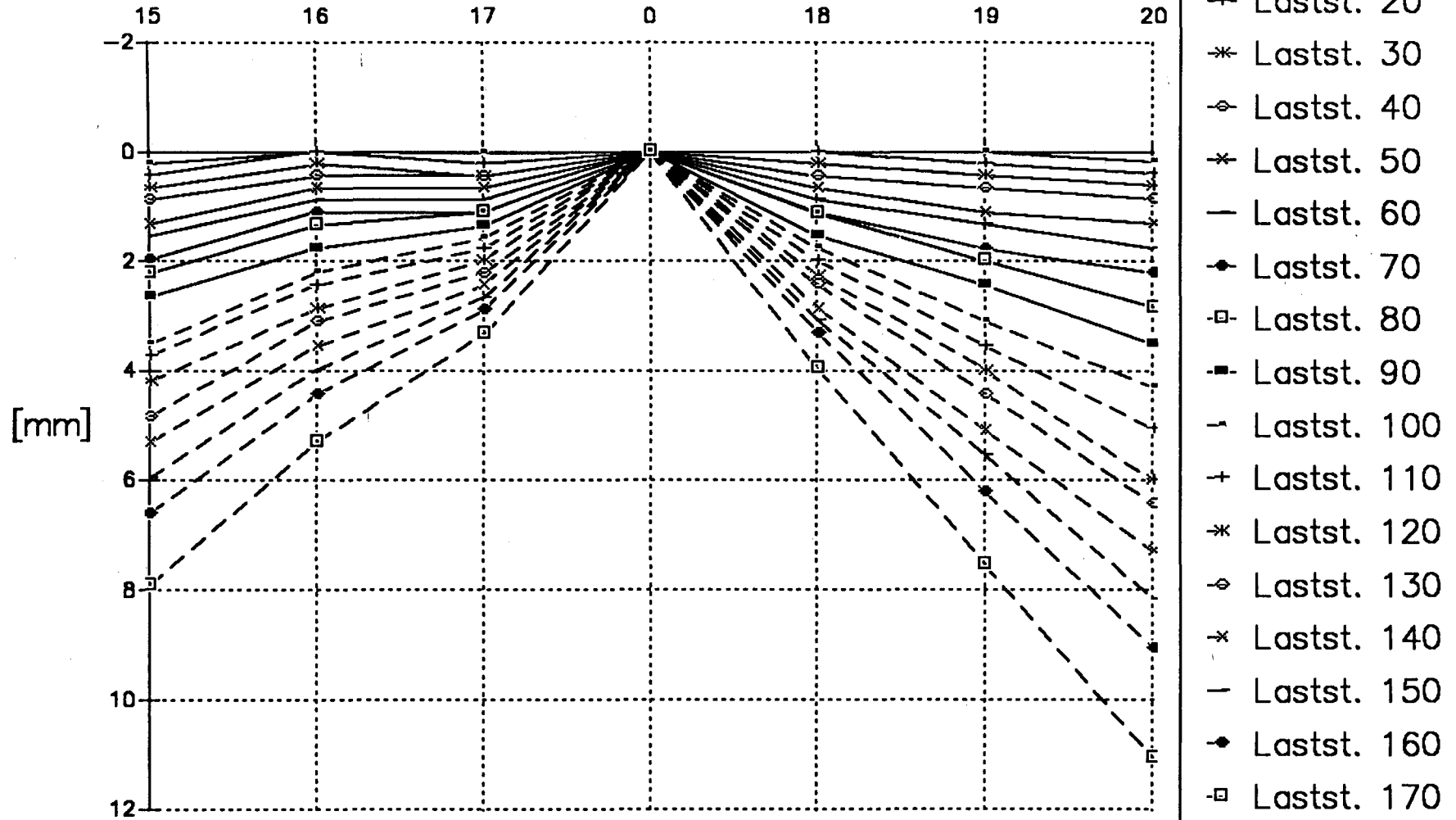
Versuch S3-V2 – Durchbiegung des Plattenrandes

Meßstelle

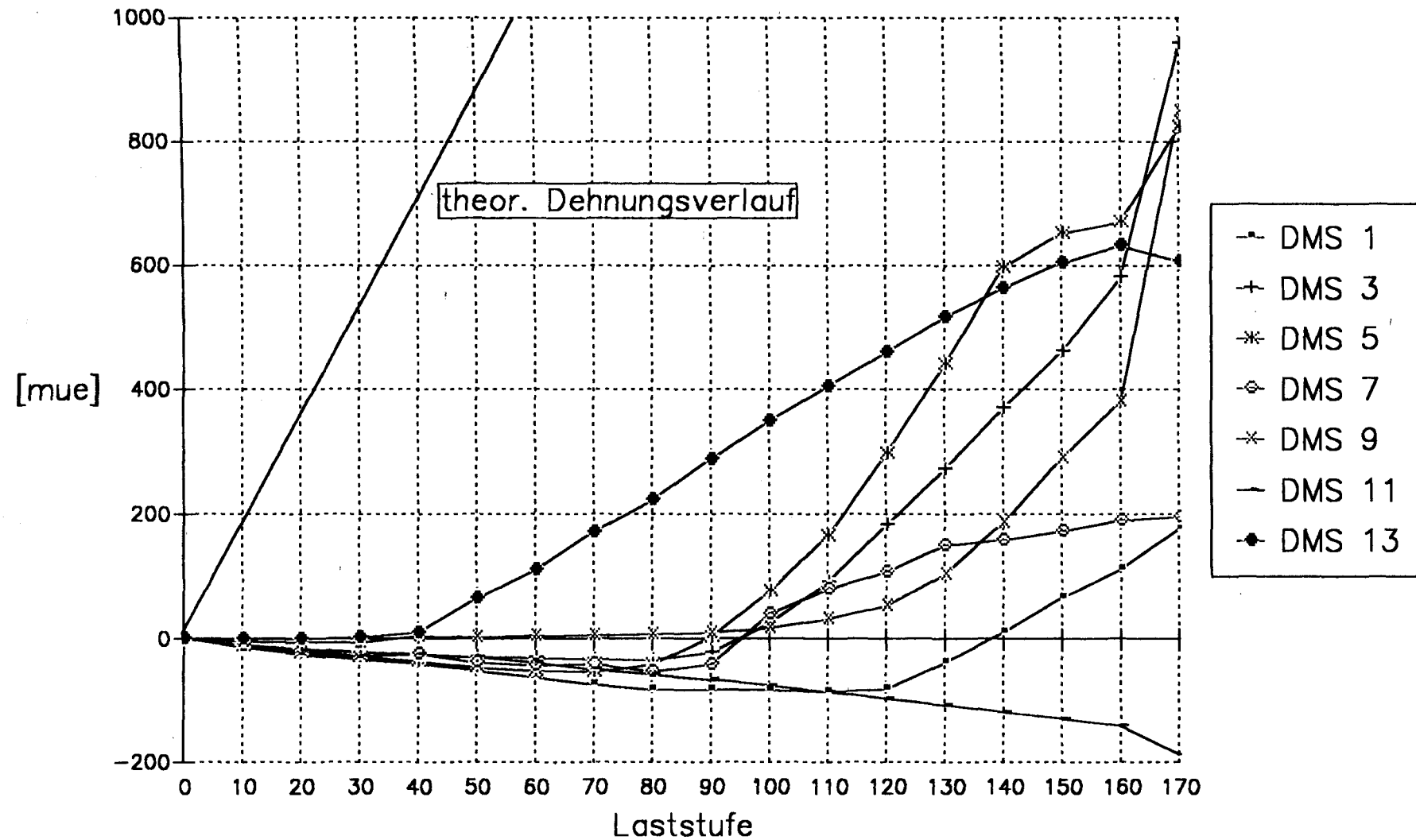


Versuch S3-V2 – Durchbiegungen in Balkenmitte

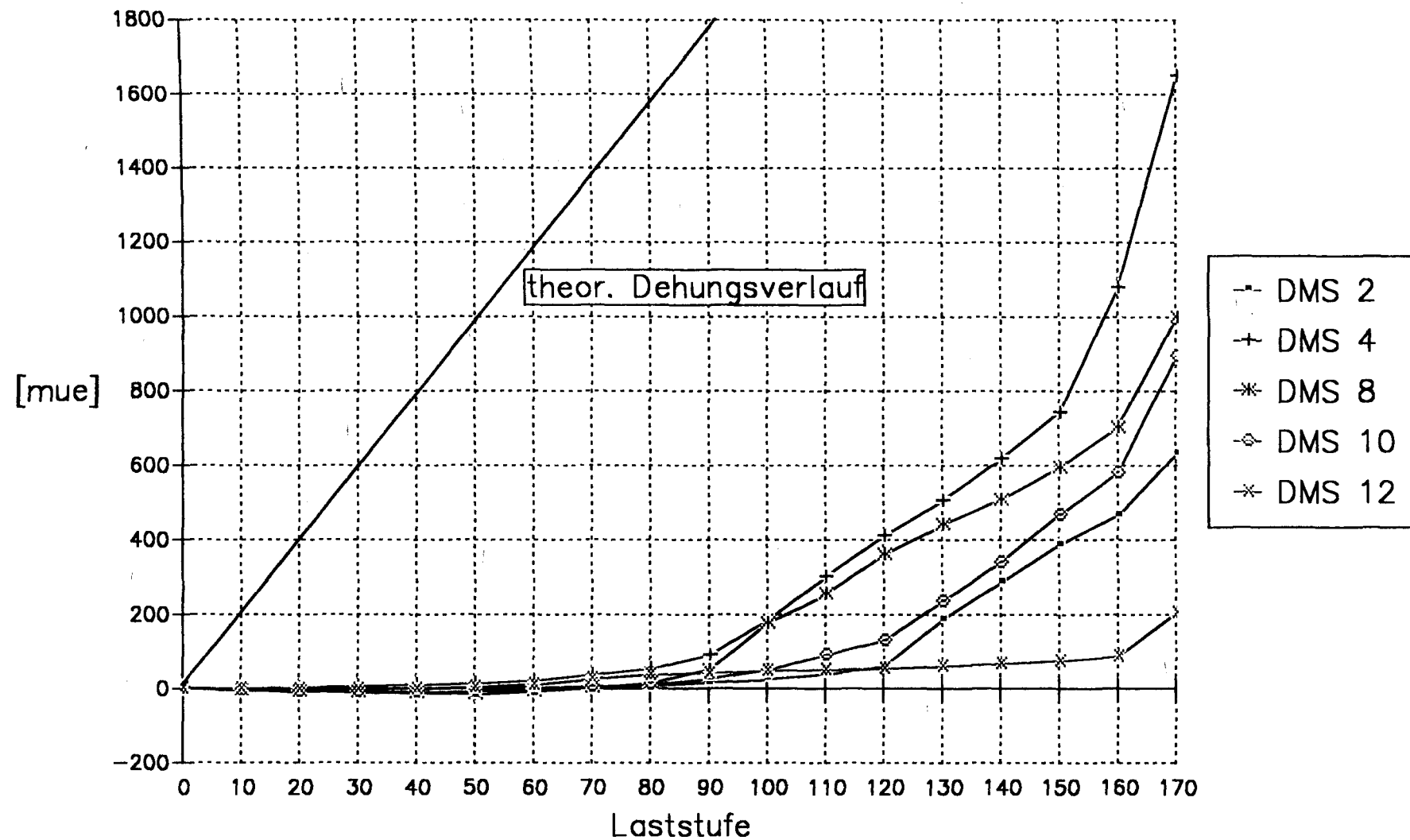
Meßstelle



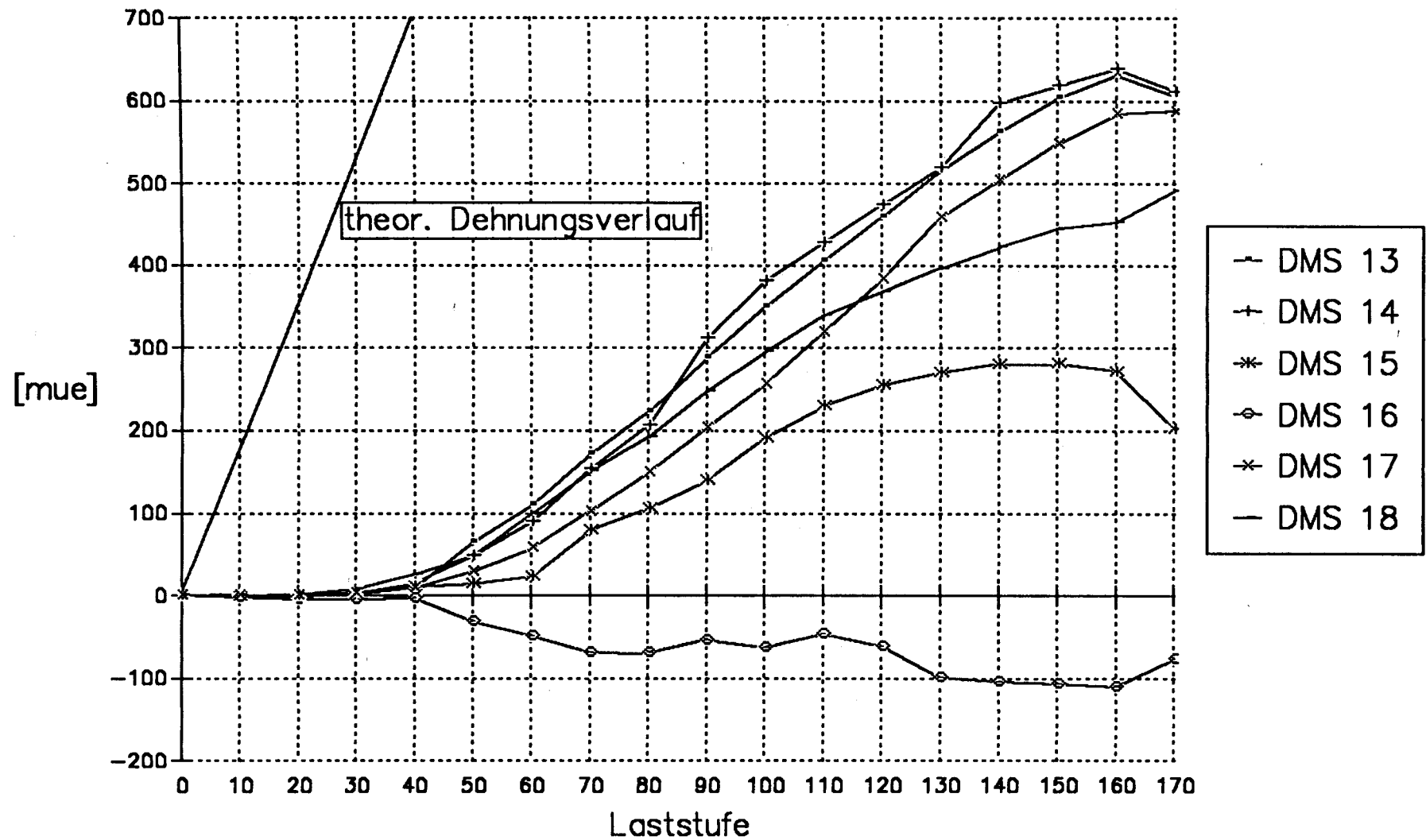
Versuch S3-V2 – DMS der Bügel



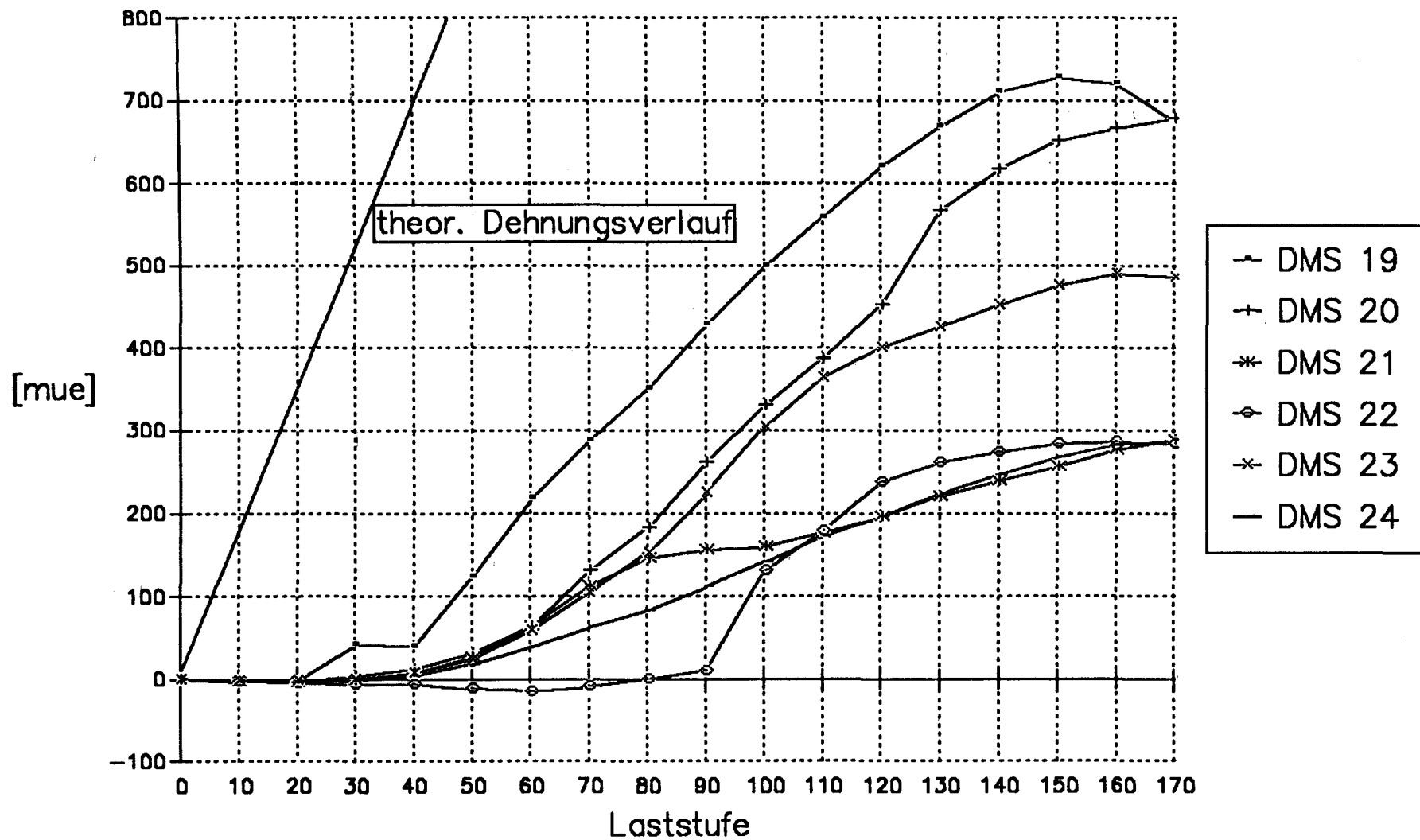
Versuch S3-V2 – DMS der Bügel



Versuch S3-V2 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



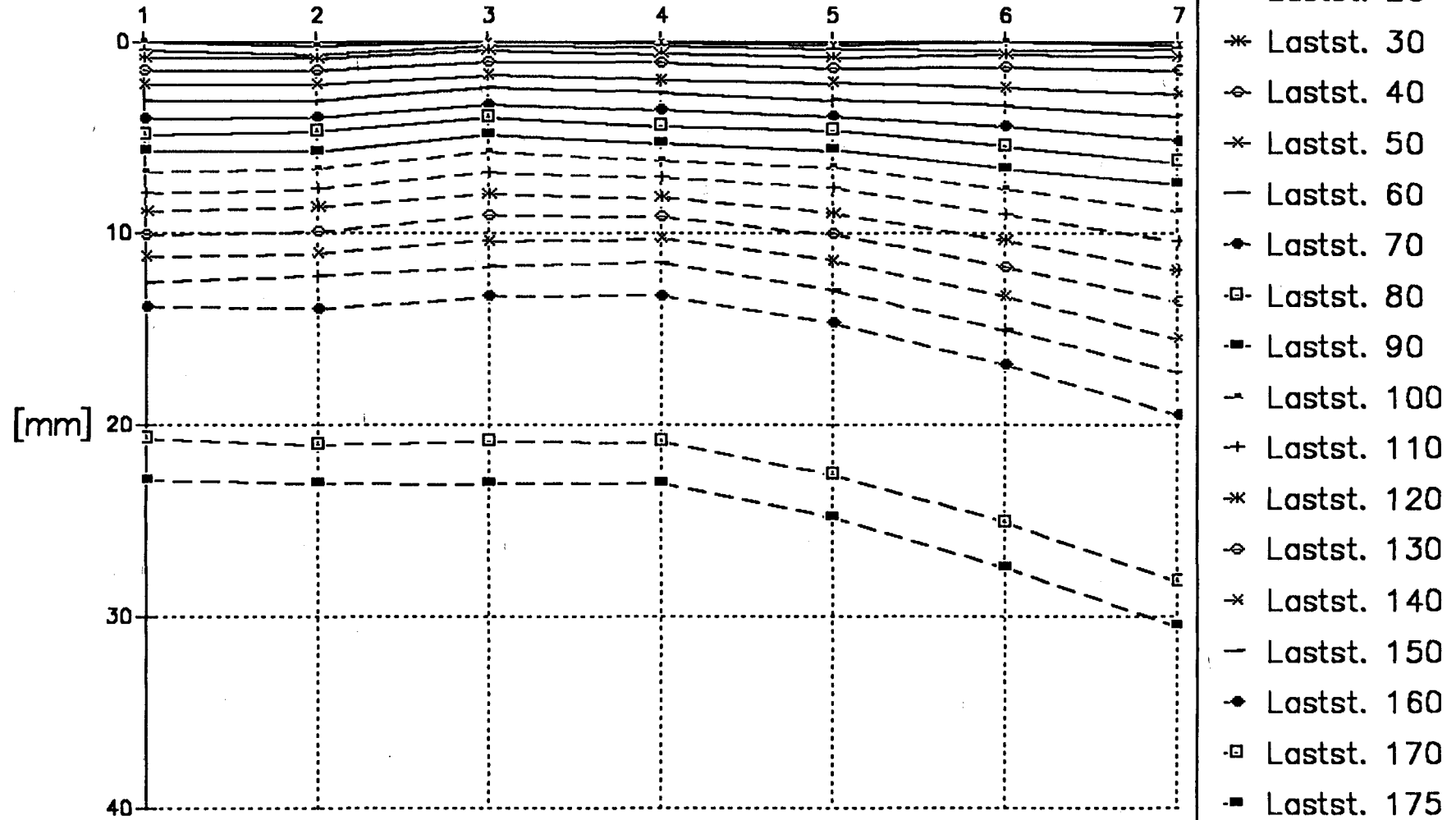
Versuch S3-V2 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



Versuch S3 – V3

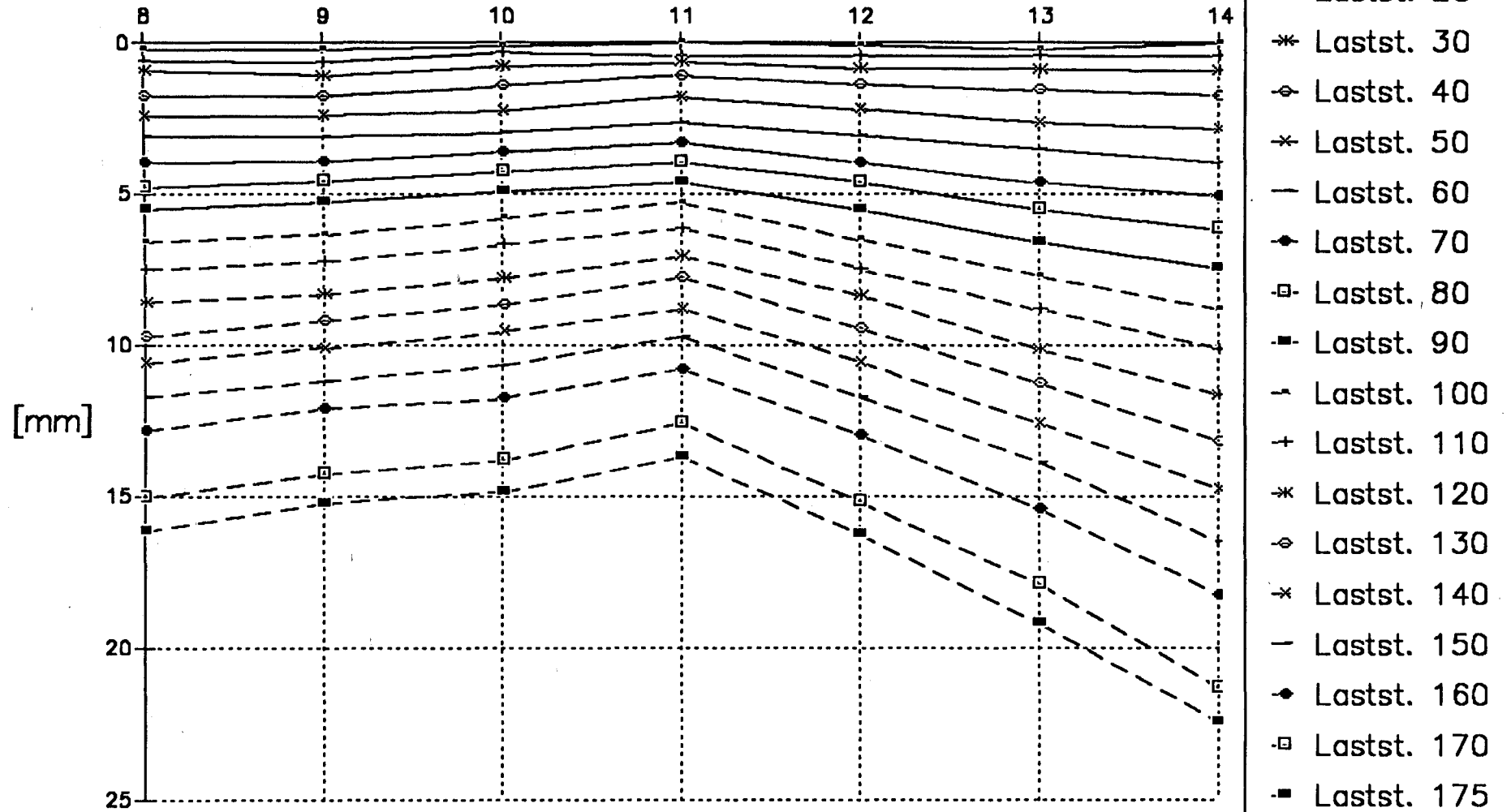
Versuch S3-V3 – Durchbiegung des Plattenrandes

Meßstelle

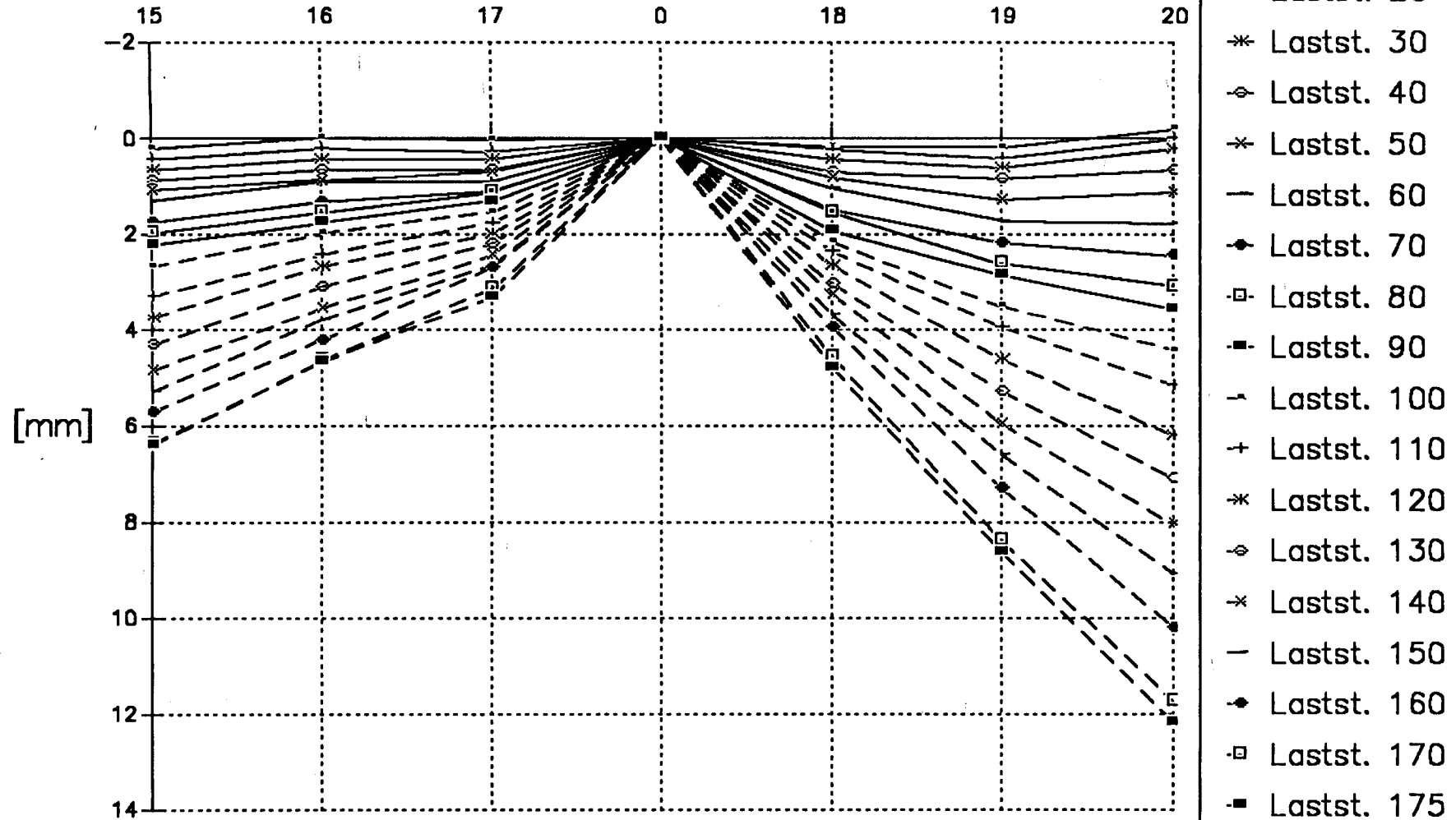


Versuch S3-V3 – Durchbiegungen am Plattenrand

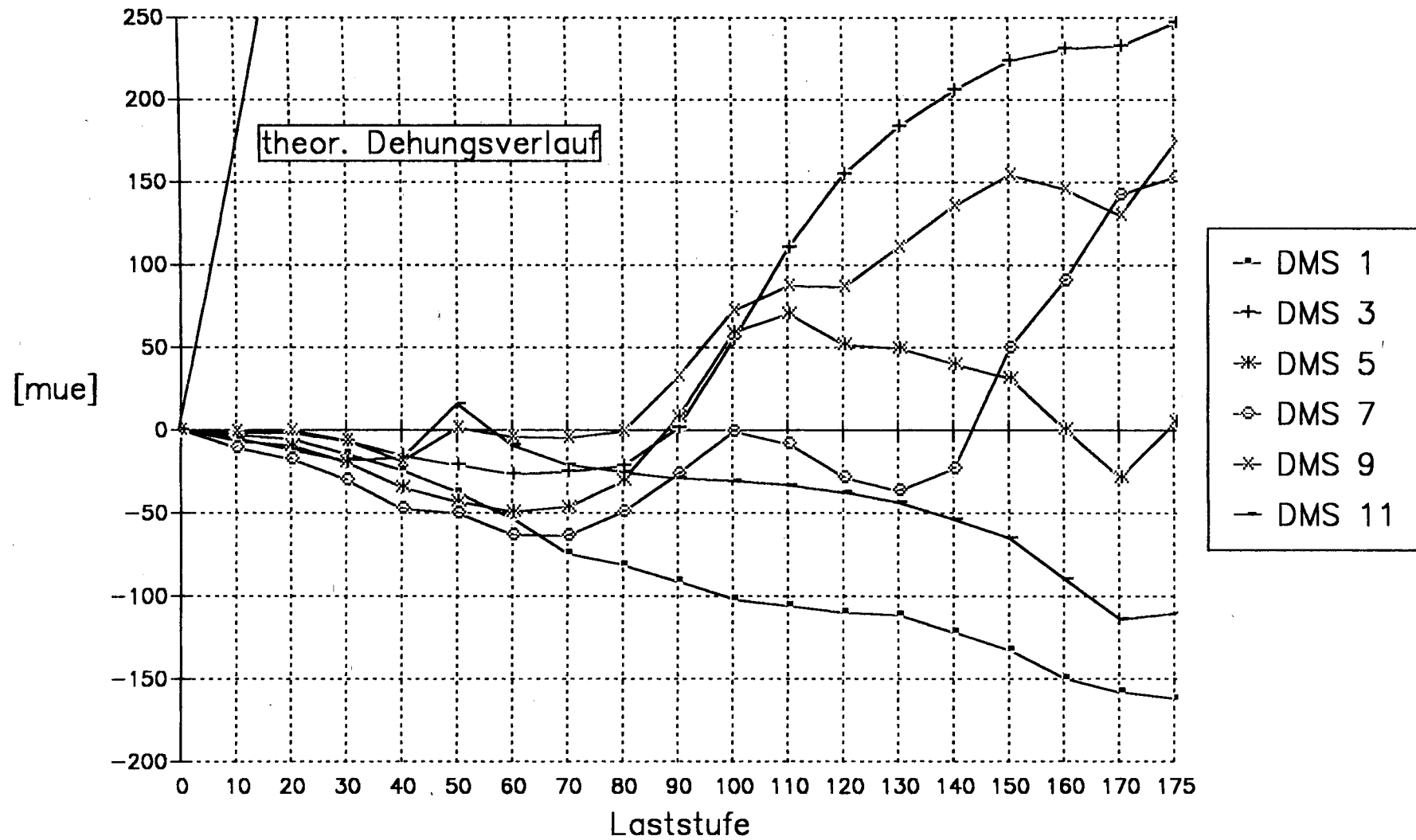
Meßstelle



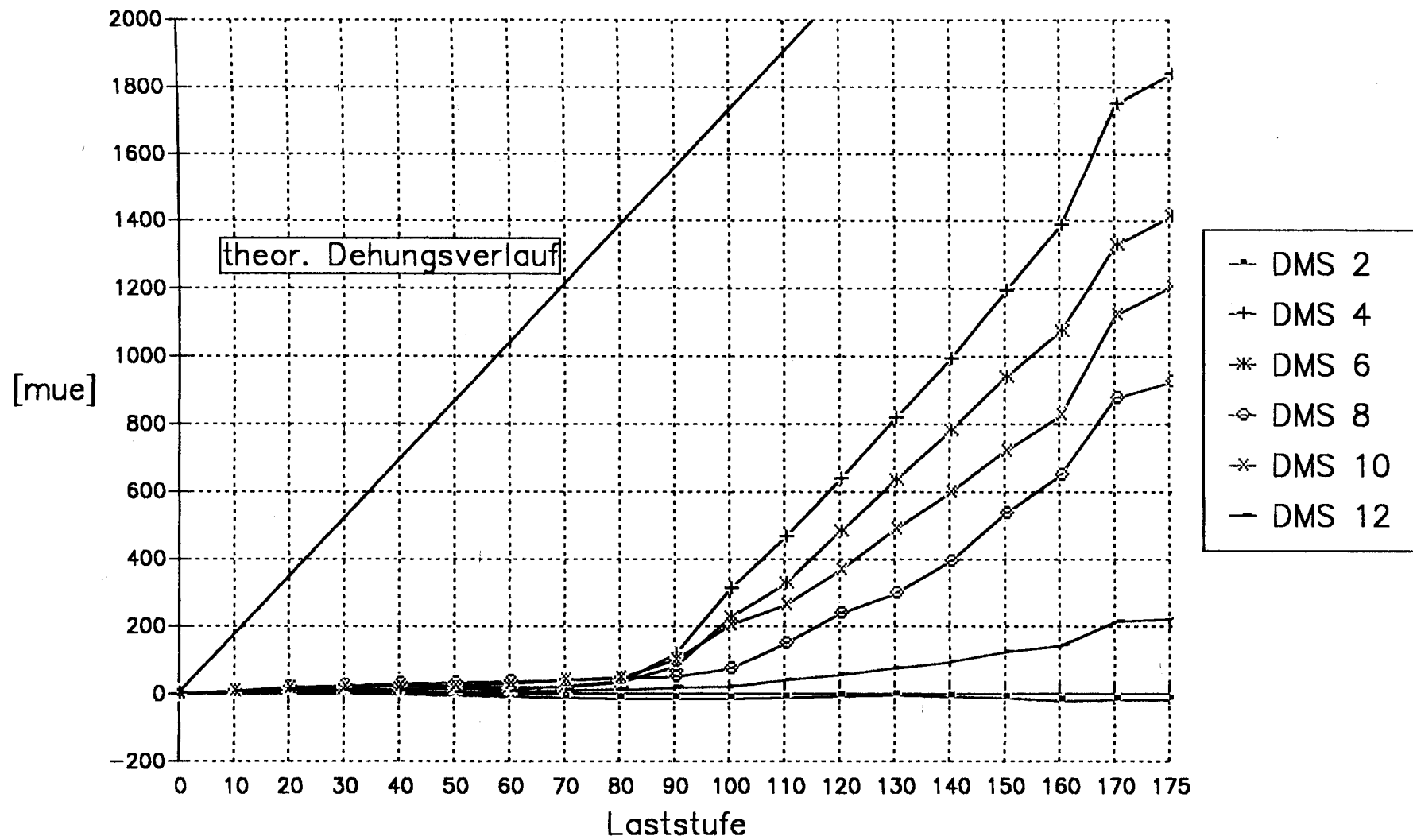
Versuch S3-V3 – Durchbiegungen in Balkenmitte Meßstelle



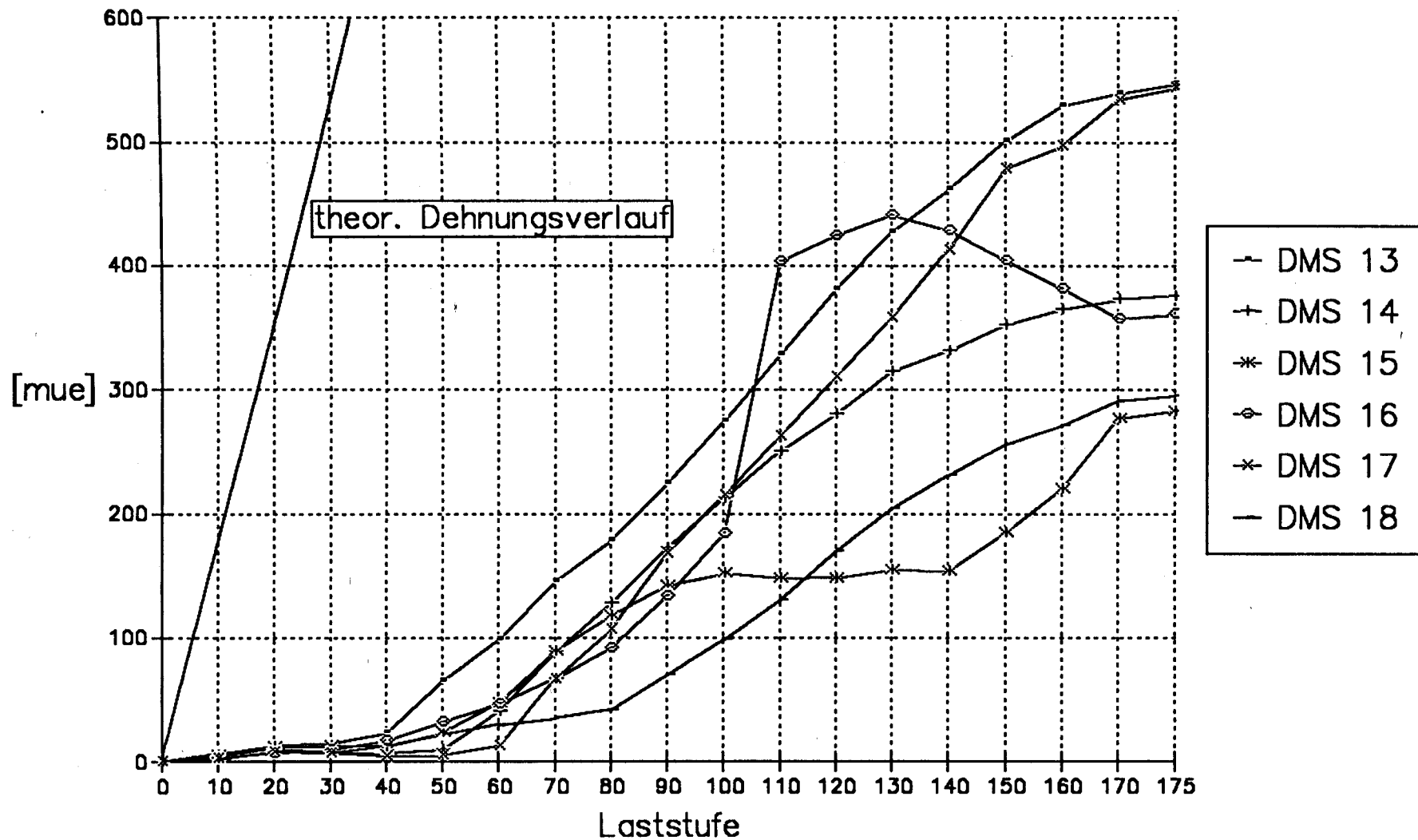
Versuch S3-V3 – DMS der Bügel



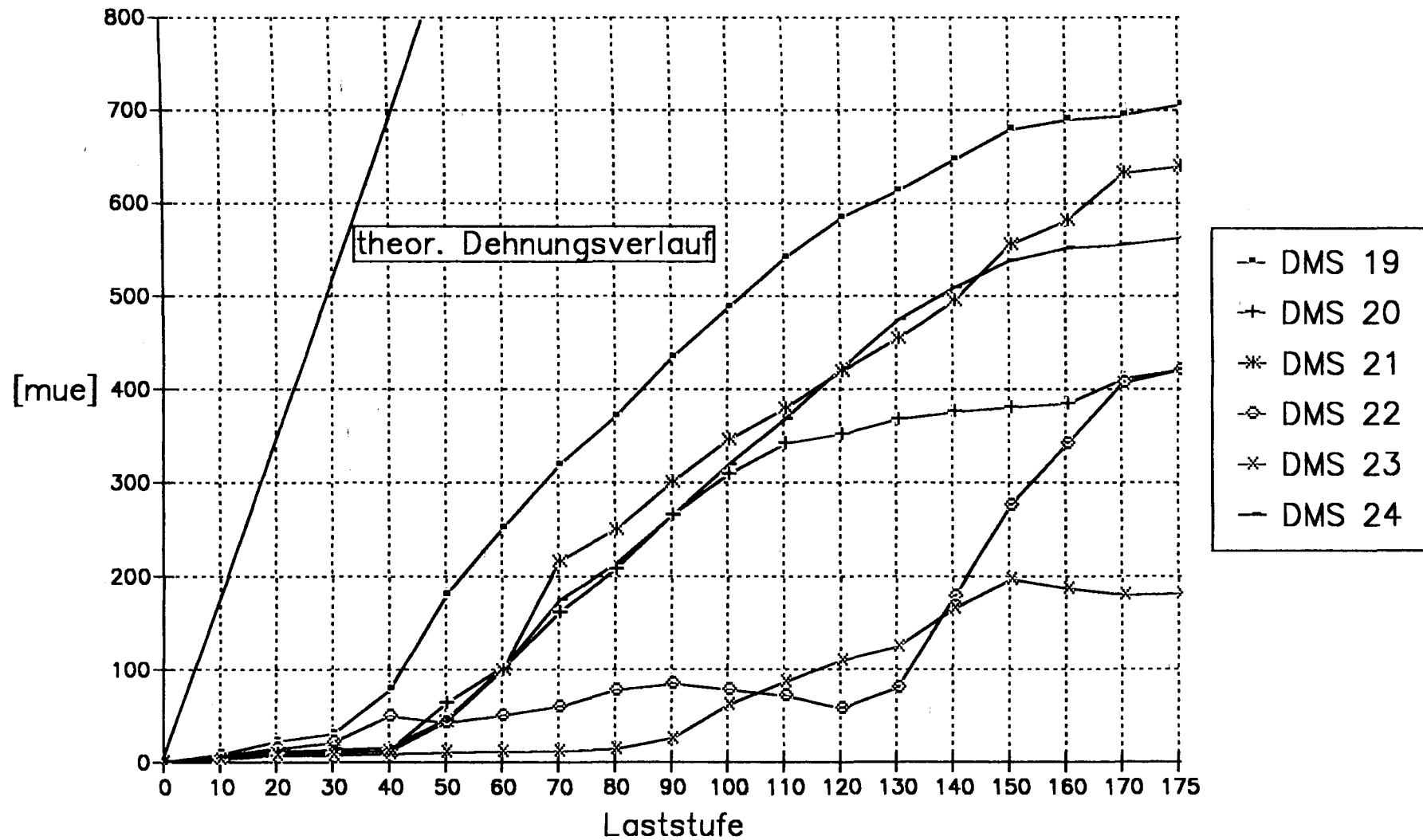
Versuch S3-V3 – DMS der Bügel



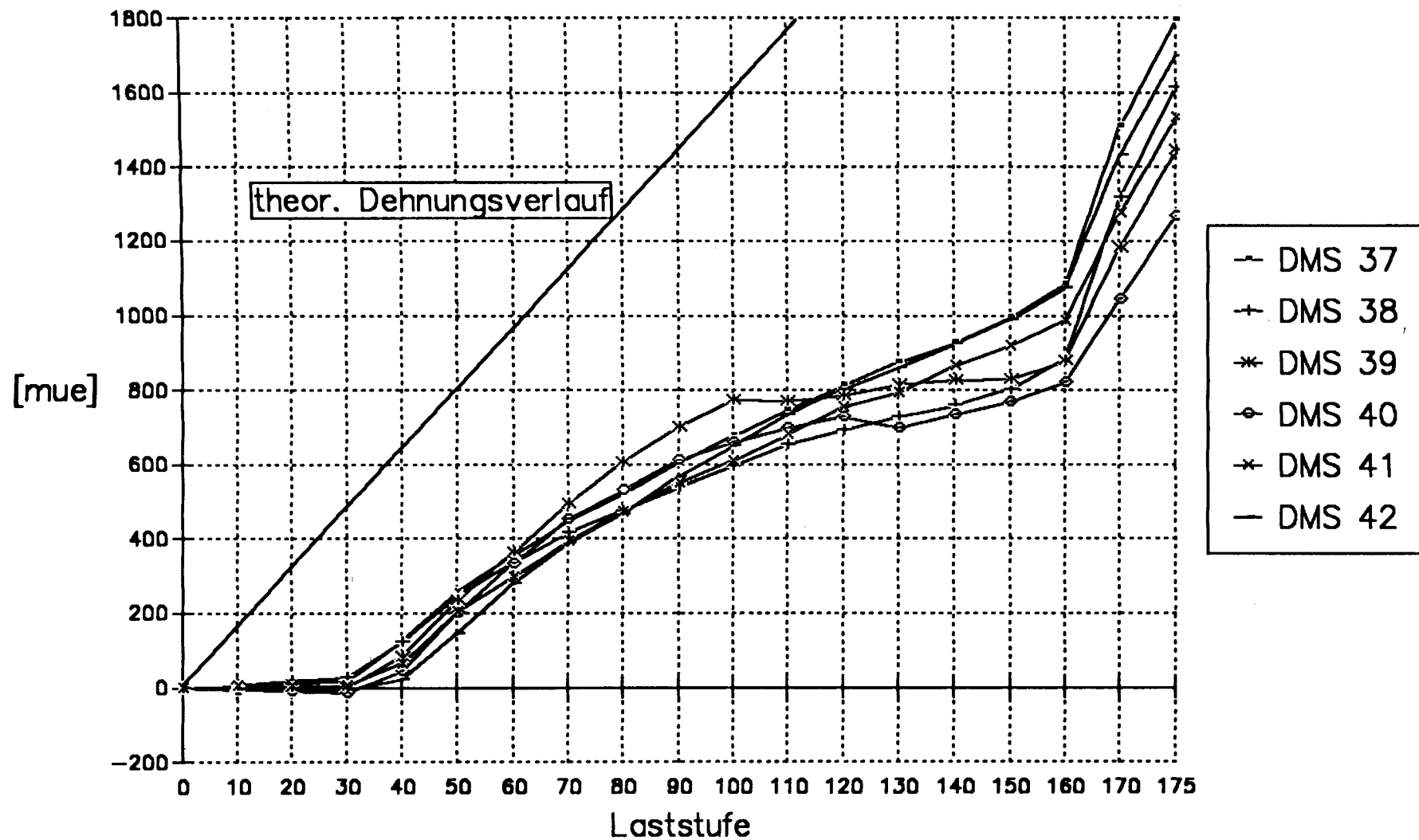
Versuch S3-V3 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



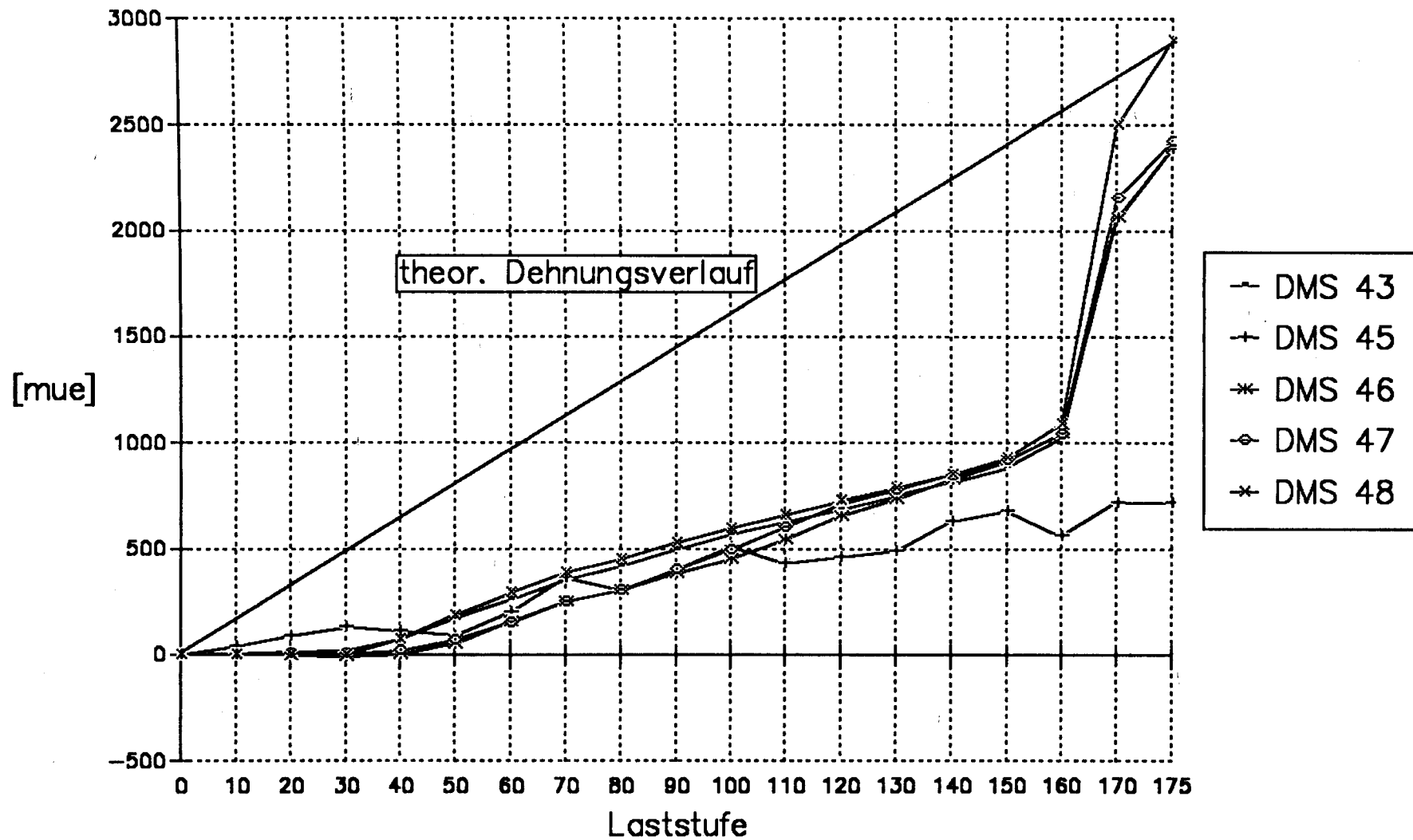
Versuch S3-V3 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



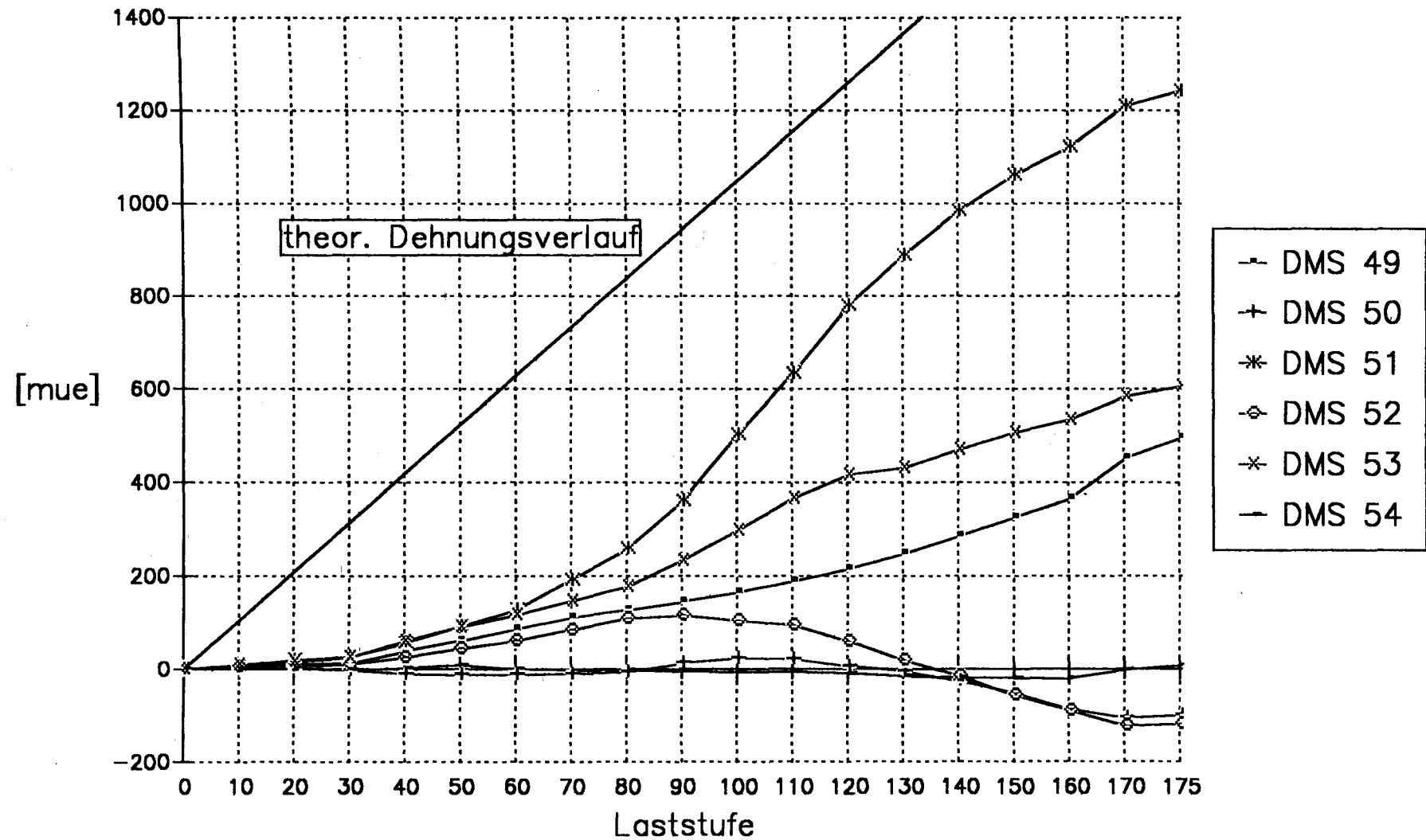
Versuch S3-V3 – DMS der Auflagerzulagen



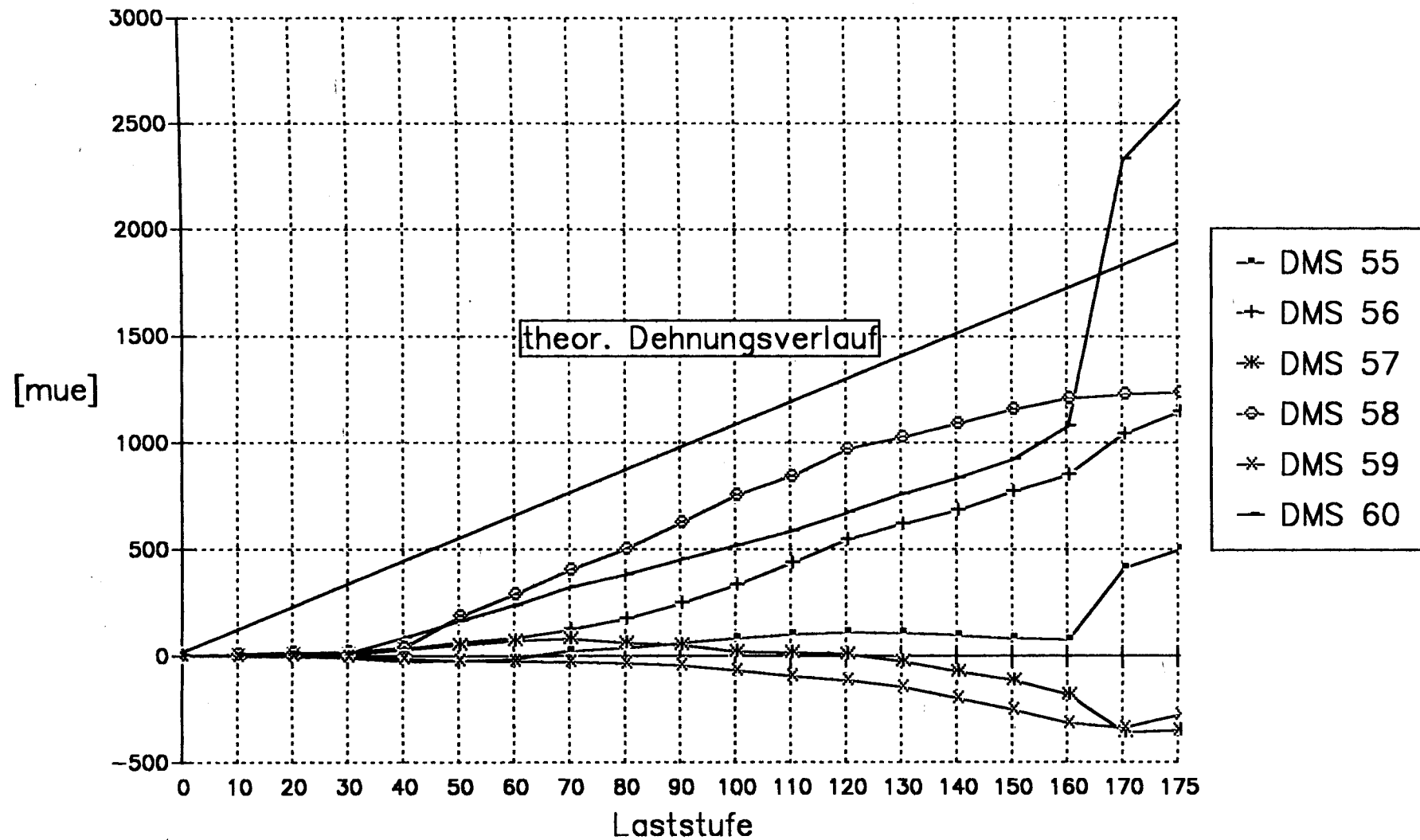
Versuch S3-V3 – DMS der Auflagerzulagen



Versuch S3-V3 – DMS der Aufhängebewehrung

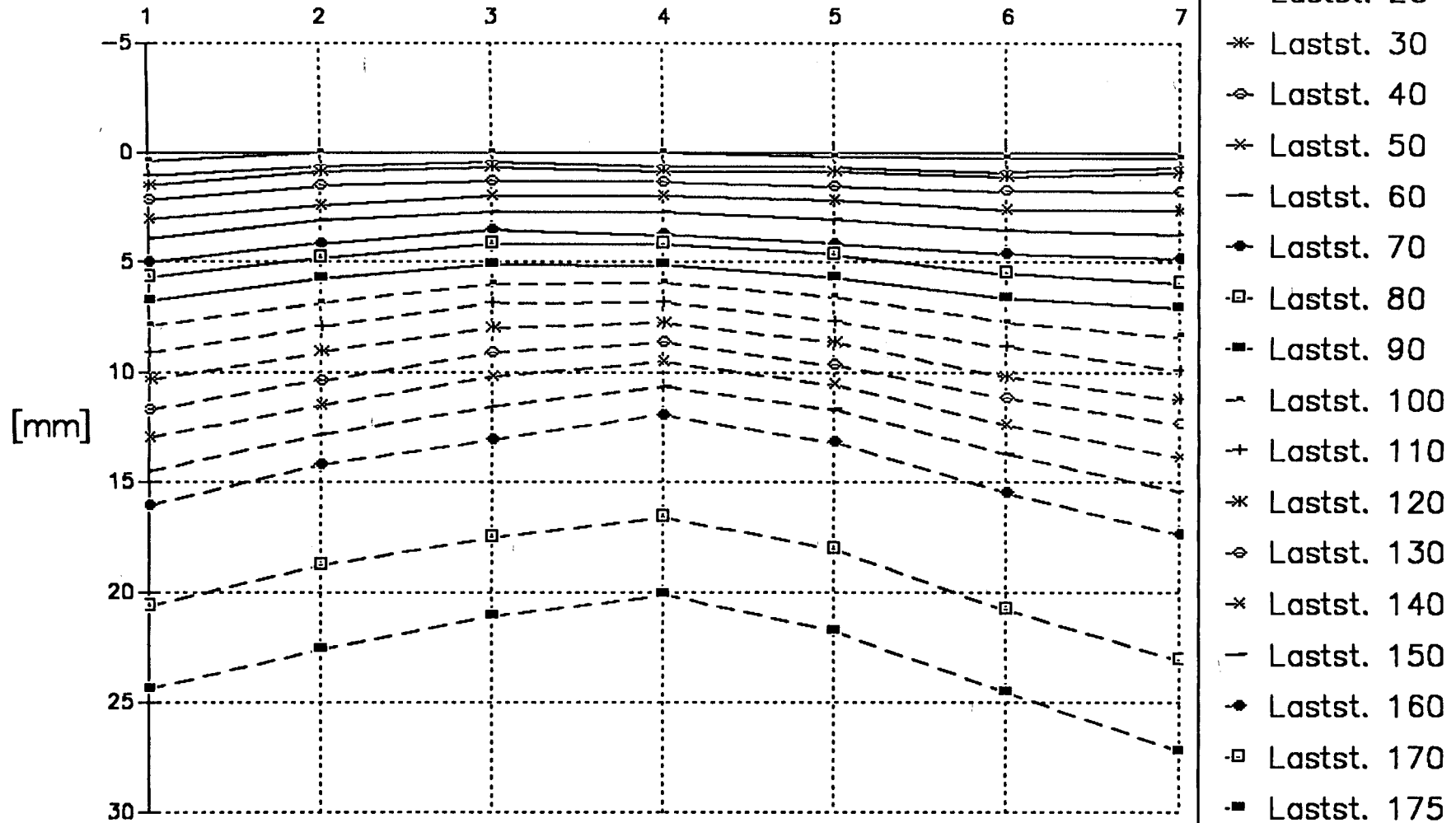


S3-V3 – DMS der Aufhängebewehrung

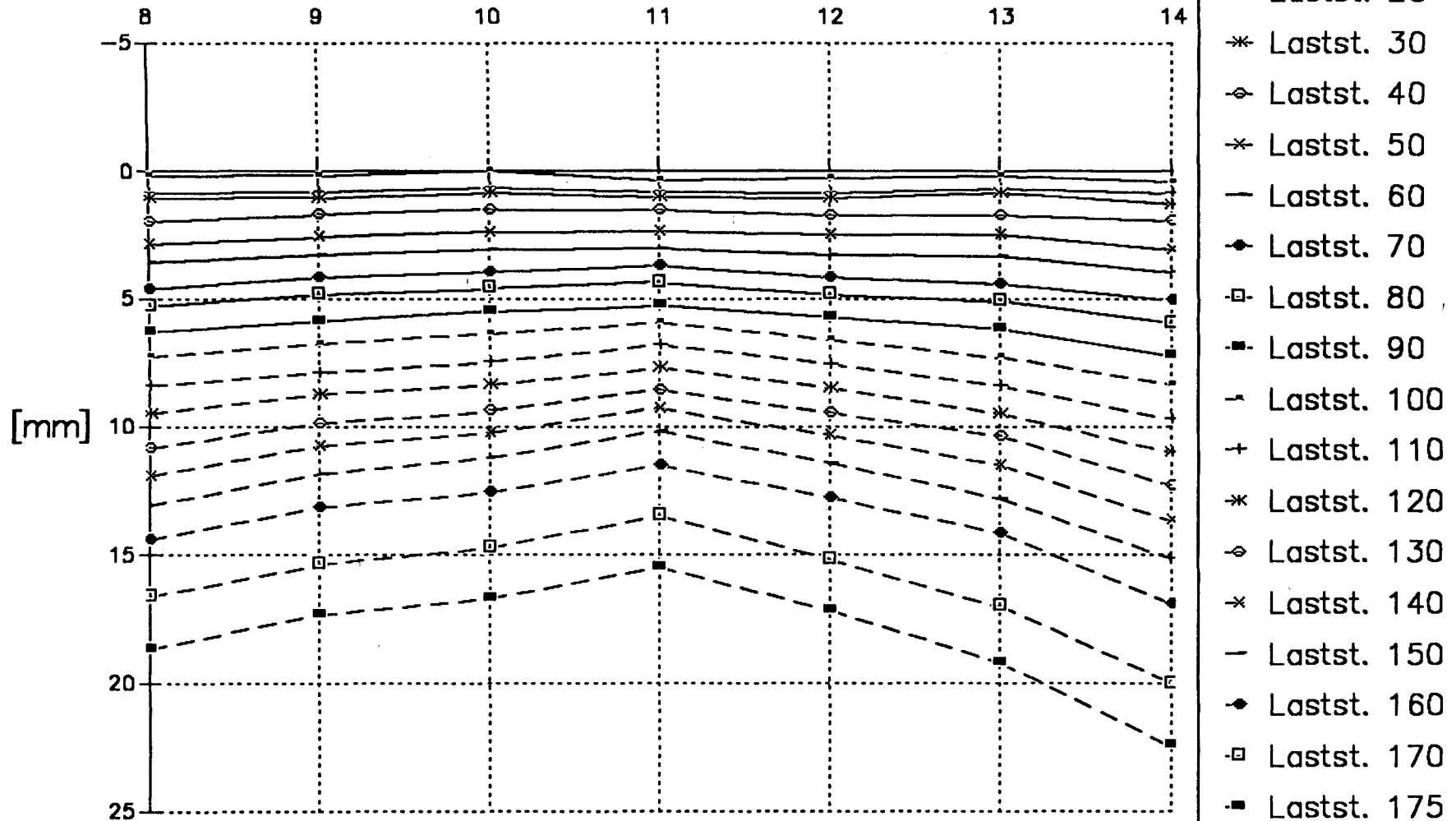


Versuch S3 – V4

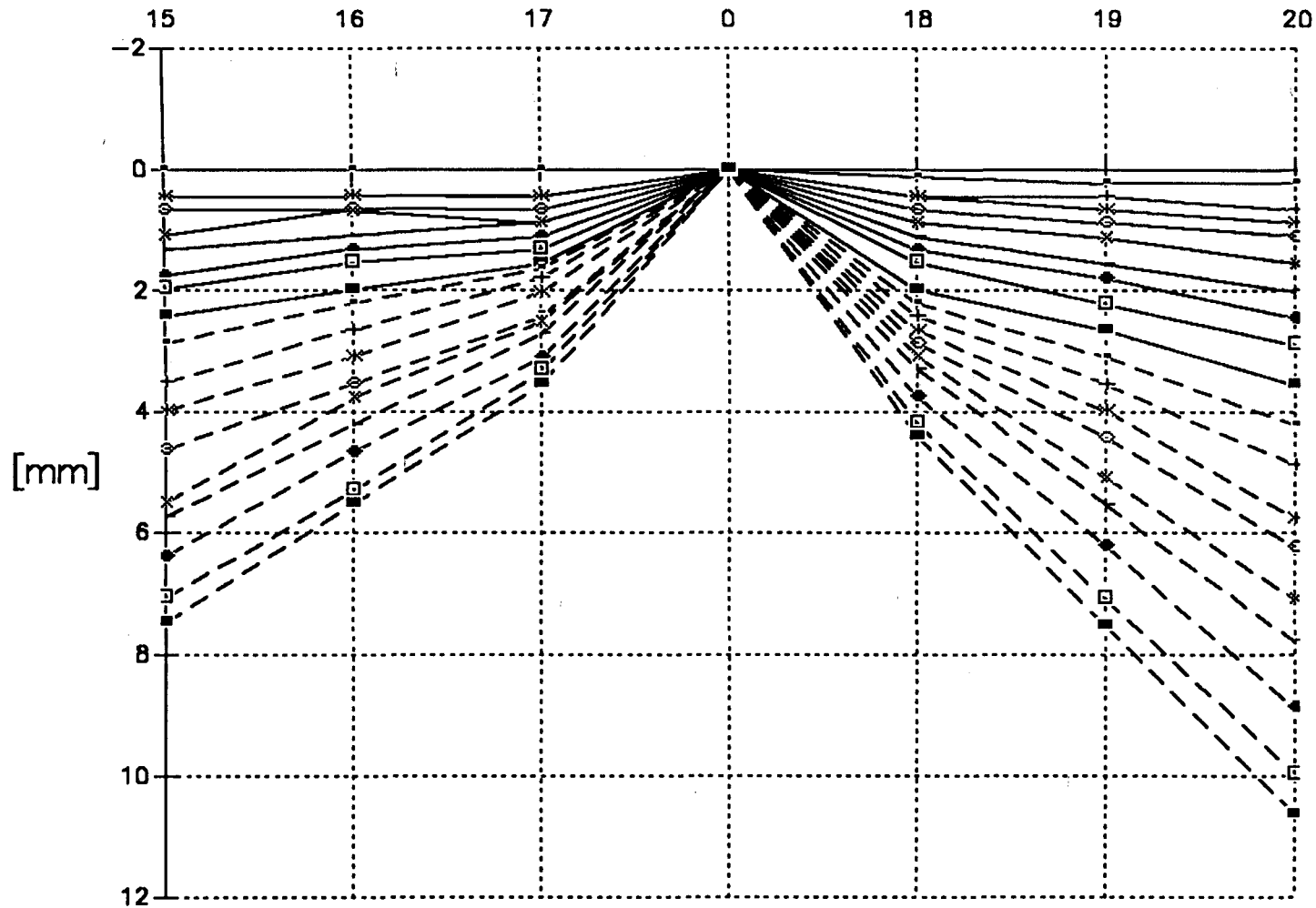
Versuch S3-V4 – Durchbiegung des Plattenrandes Meßstelle



Versuch S3-V4 – Durchbiegung des Plattenrandes Meßstelle

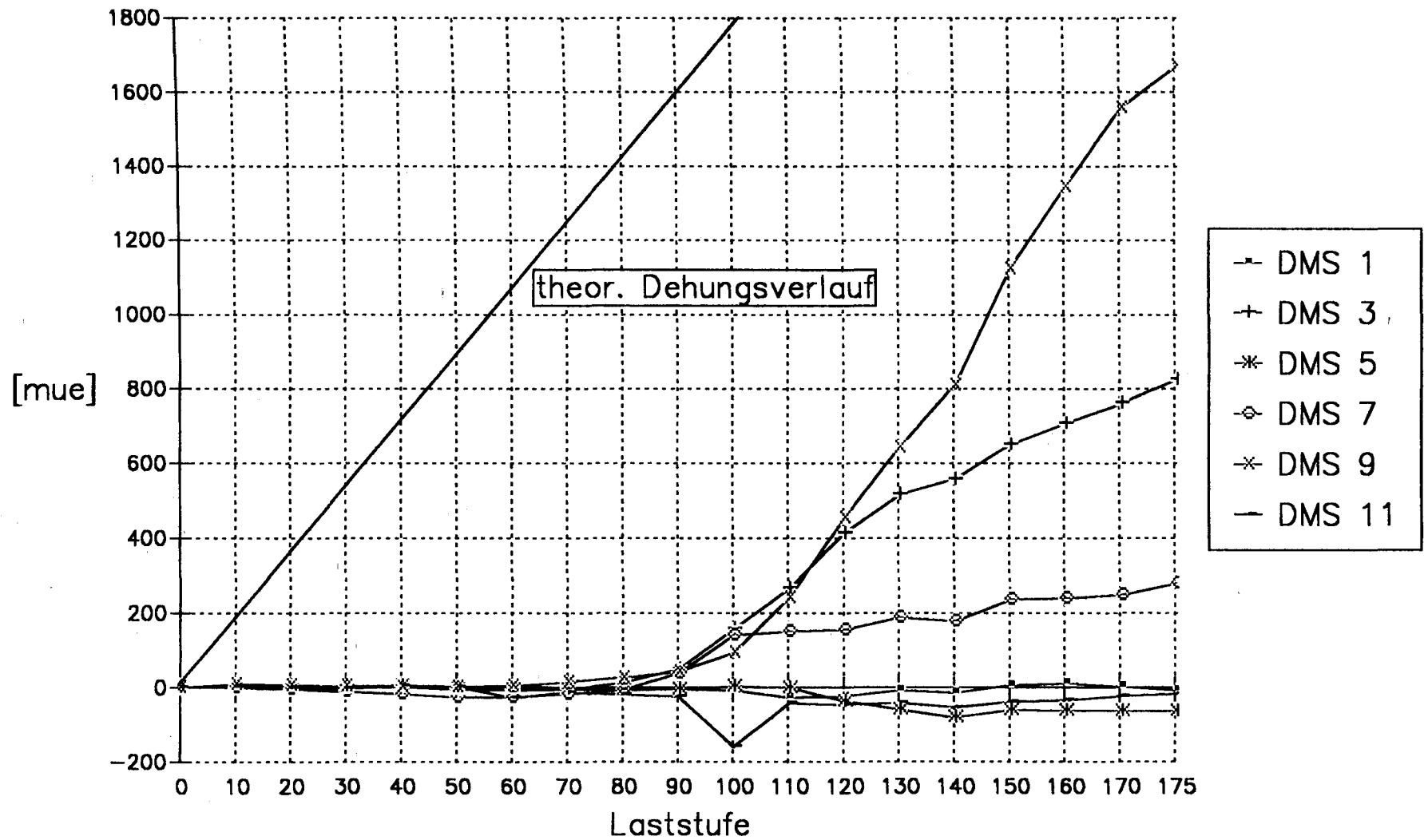


Versuch S4-V4 – Durchbiegung in Balkenmitte Meßstelle

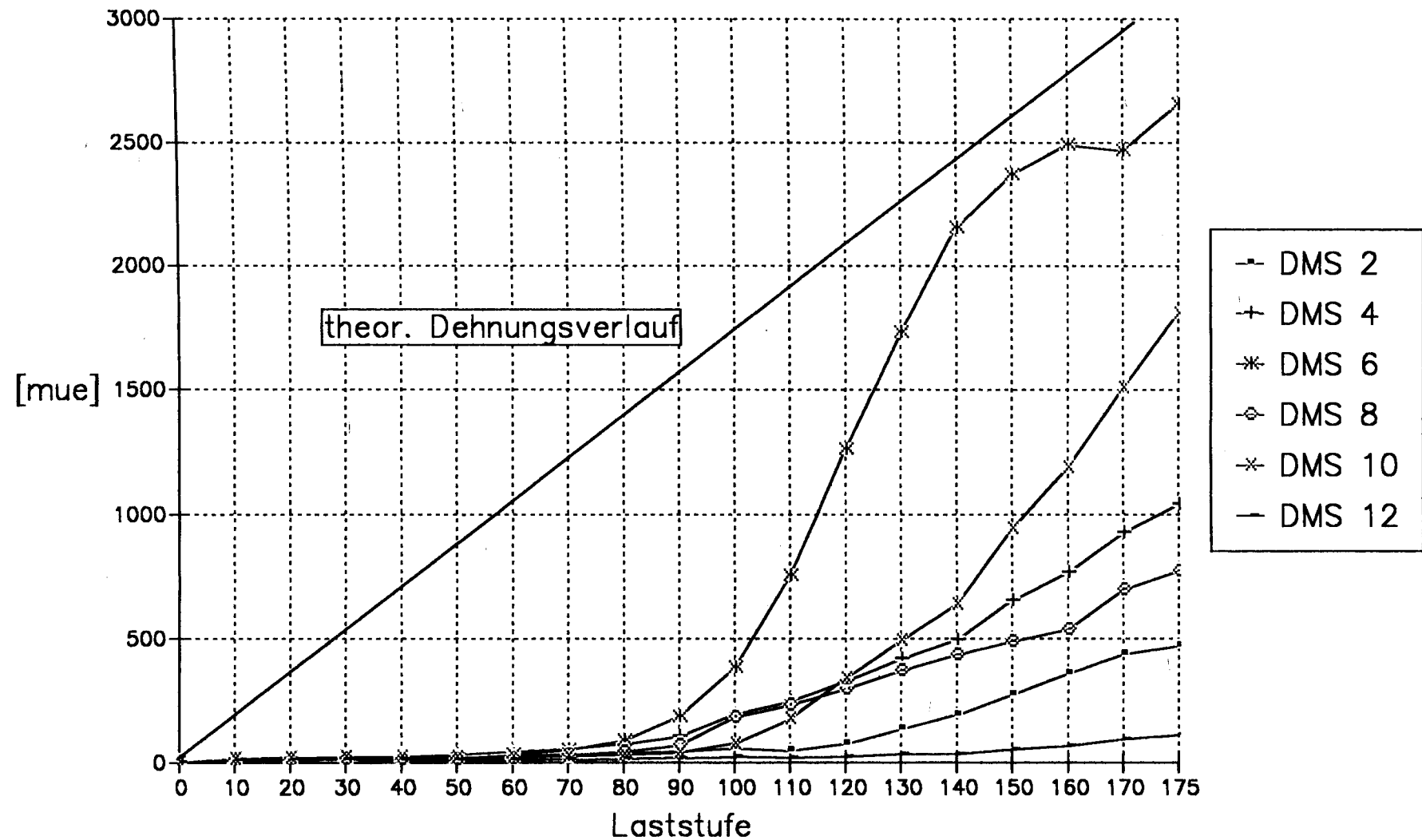


- Lastst. 10
- + Lastst. 20
- * Lastst. 30
- ◊ Lastst. 40
- × Lastst. 50
- Lastst. 60
- Lastst. 70
- ◻ Lastst. 80
- Lastst. 90
- ⋈ Lastst. 100
- + Lastst. 110
- * Lastst. 120
- ◊ Lastst. 130
- × Lastst. 140
- Lastst. 150
- Lastst. 160
- ◻ Lastst. 170
- Lastst. 175

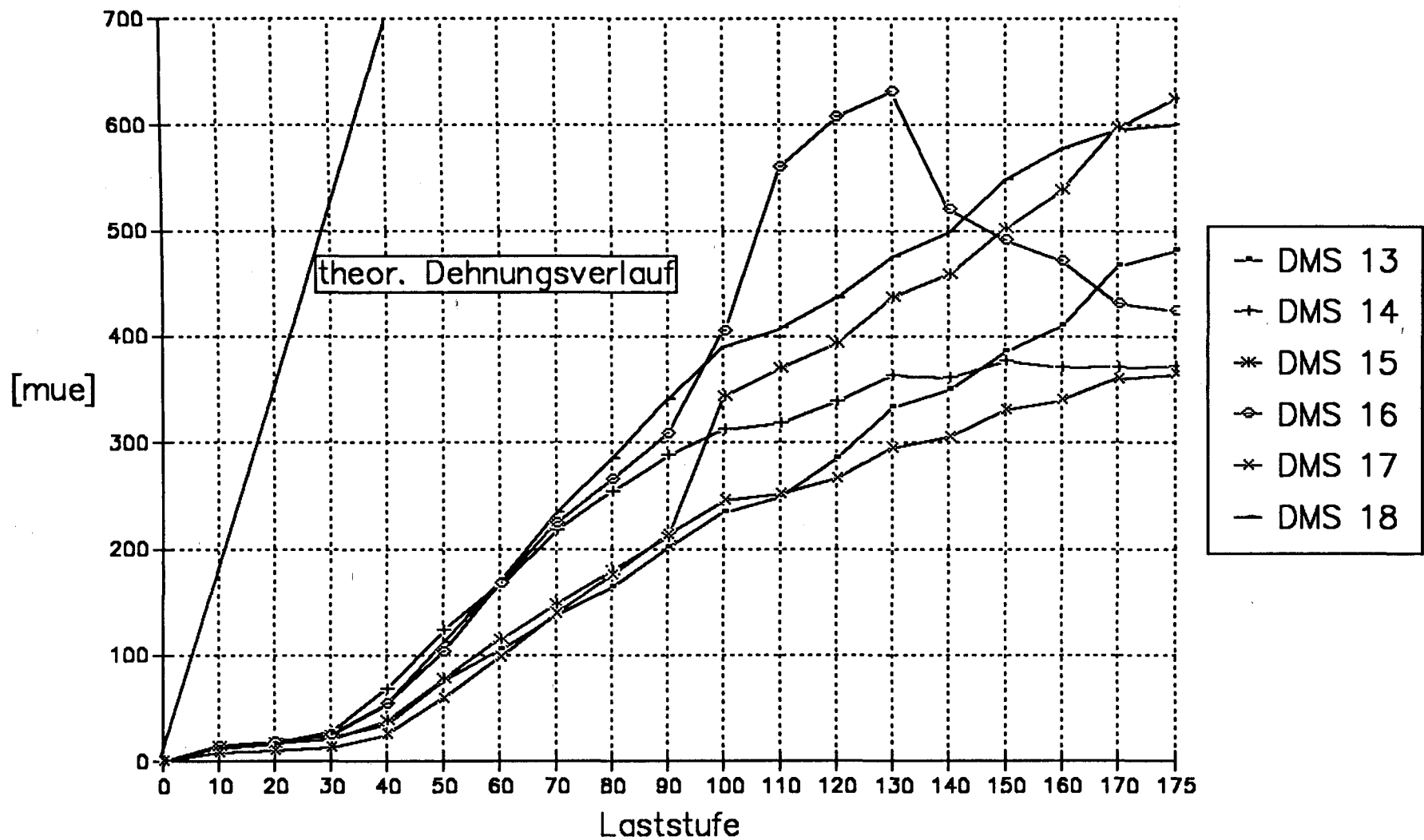
Versuch S3-V4 – DMS der Bugel



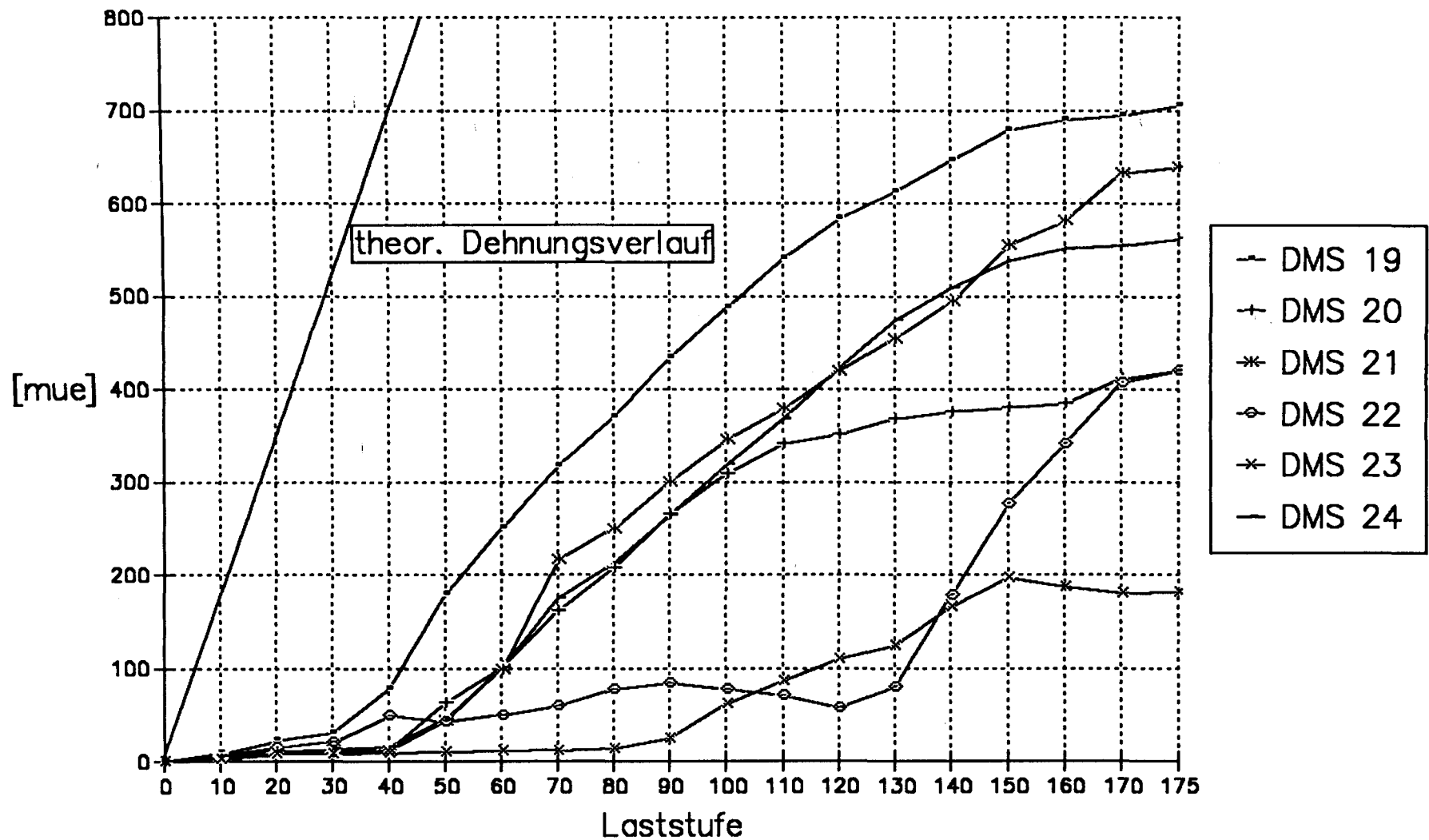
Versuch S3-V4 – DMS der Bügel



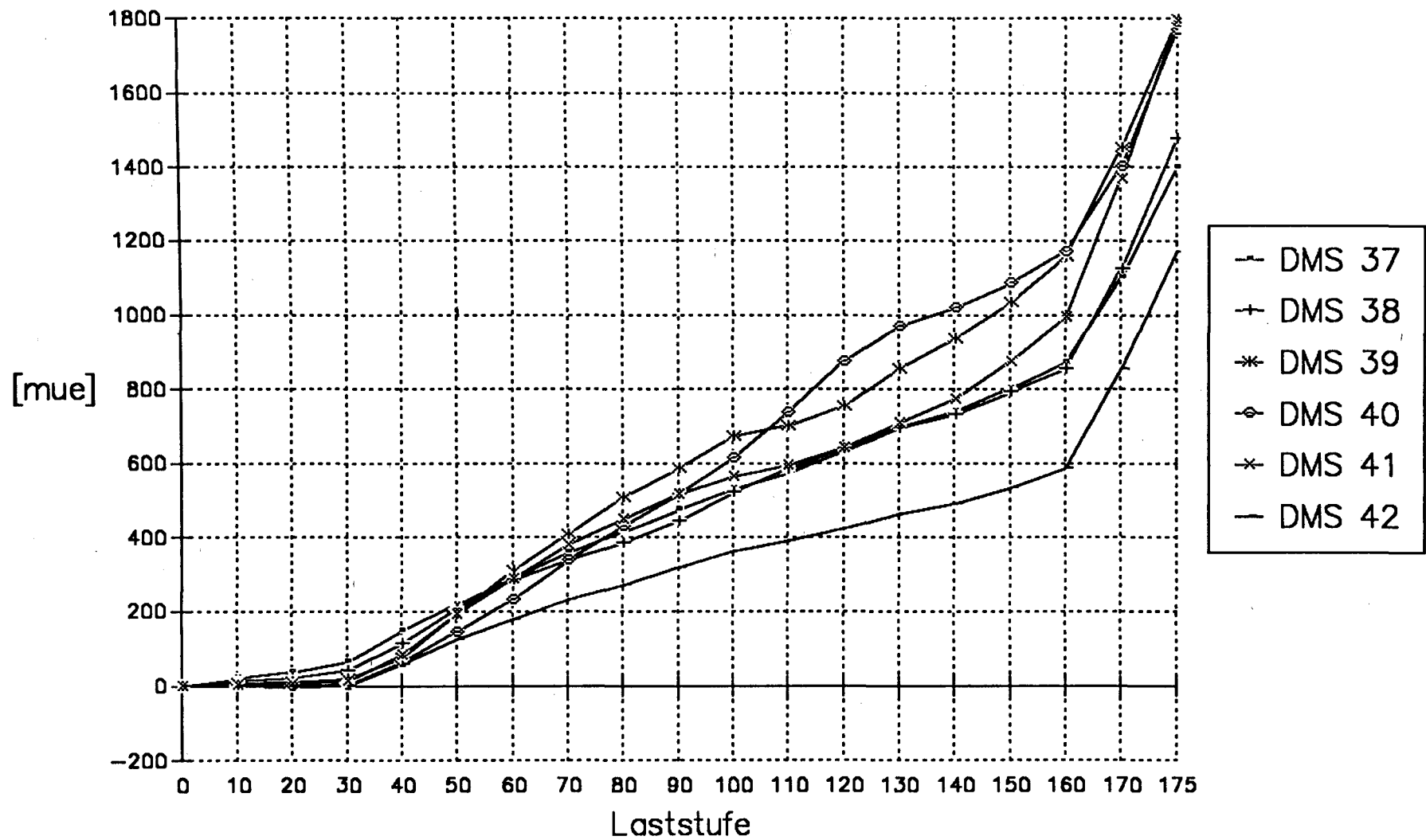
Versuch S3-V4 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



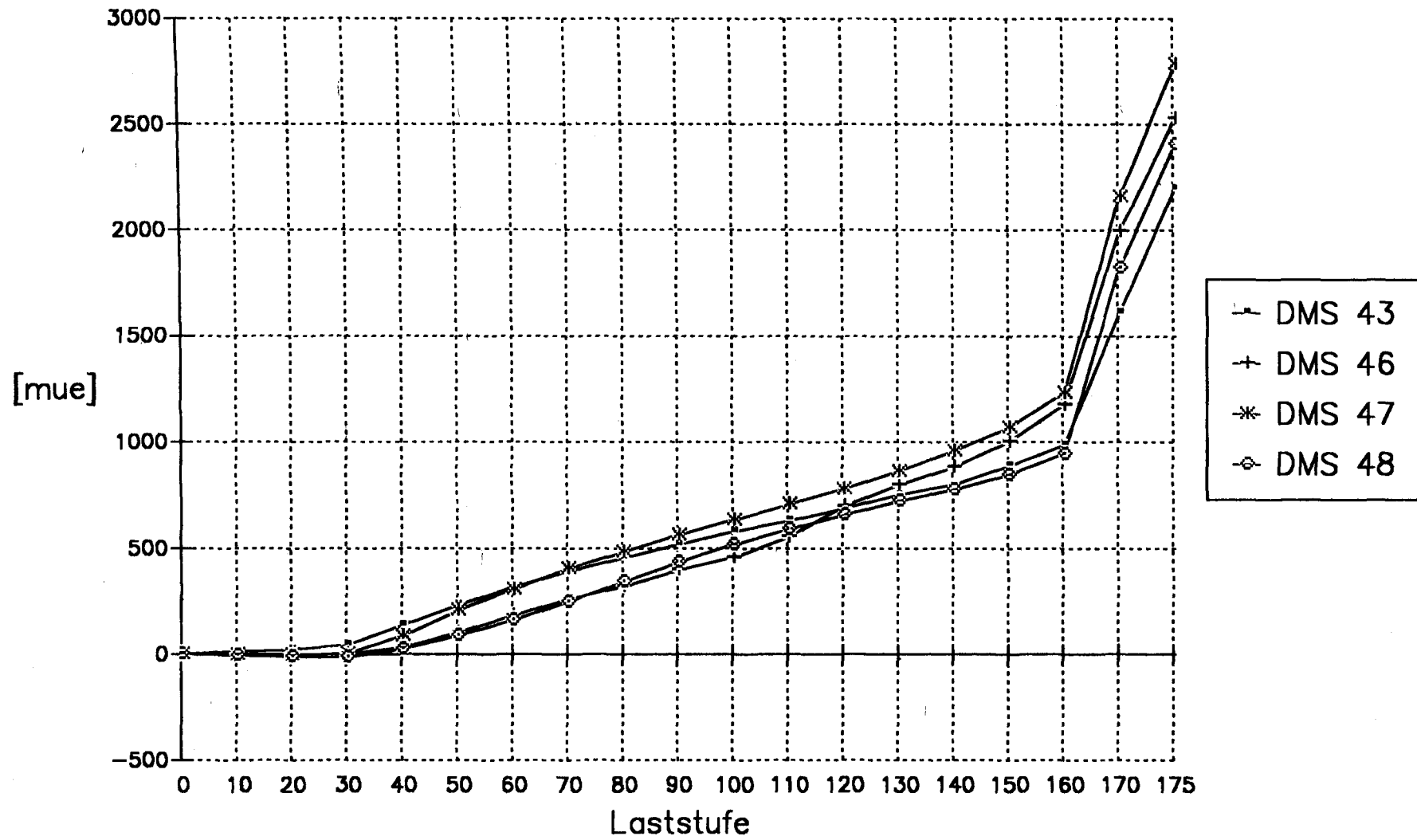
Versuch S3-V3 – DMS der Gitterträgerdiagonalen



Versuch S3-V4 – DMS der Auflagerzulagen



Versuch S3-V4 – DMS der Auflagerzulagen



30-02-1990

27. FEBRUAR 1990

30-0280/001